Grundzüge

der

Technischen Naturlehre

oder

die Grundlehren der Physik, Chemie und Mechanik, mit Bezugnahme auf ihre allgemeine und spezifische technische Anwendung,

gemeinfaßlich

und als Leitfaden für den Unterricht

an

niedern gewerblichen Schulanstalten

dargestellt

von

Ph. Huber,
Director der Gewerbschule zu Pforzheim.

Zweite, vermehrte Auflage.

Mit 272 Holzschnitten.

Stuttgart.
Verlag von Krais & Hoffmann.
1860.

Vorrede.

Die erste Auflage des vorliegenden Werkchens war zunächst nur für die Schüler der hiesigen Gewerbschule bearbeitet, erstreckte sich darum nur auf den eigentlichen physikalisch-chemischen Theil des Unterrichts, da für diejenigen Schüler, welche den Unterricht in der Mechanik besuchen, das von dem Verfasser besonders bearbeitete Lehrbuch der Mechanik dient. Das Büchlein erschien darum auch nicht im Buchhandel, hat dessen ungeachtet aber doch Eingang in mehreren Schulen gefunden.

Auf den Wunsch der Verleger seines ebenerwähnten „Lehrbuchs der Mechanik für Gewerb- und Handwerkerschulen," hat nun der Verfasser bei Bearbeitung der vorliegenden zweiten Auflage diese dahin erweitert, daß derselben eine Art Auszug aus dem genannten Lehrbuche der Mechanik beigegeben wurde.

In der jetzigen Gestalt soll nun das Werkchen als Leitfaden in der Hand der Schüler solcher Gewerb-, Handwerker- oder sogen. gewerblicher Fortbildungsschulen dienen, in welchen getrennte Unterrichtsstunden für Physik und Mechanik nicht vorgesehen sind, sondern wo der Unterricht in beiden Zweigen, sowie oft auch das Wichtigste aus der Chemie, miteinander verbunden wird.

Da das Büchlein demnach das Bedürfniß der niedersten gewerblichen Schulanstalten befriedigen soll, so sind darum auch behufs des Verständnisses keine besondern mathematischen Vorkenntnisse vorausgesetzt; nur ist für wenige Fälle nöthig, daß der Schüler die allereinfachsten Formeln zu behandeln und allenfalls noch das Wurzelausziehen versteht.

Nach der eingehaltenen eigenthümlichen Behandlung bildet das Werkchen eigentlich nur einen Rahmen mit übersichtlicher Angabe dessen, wie derselbe auszufüllen ist. Diese Behandlung hat den Vortheil, daß das Buch sowohl für einen ausgedehntern, als spärlich zugemessenen Unterricht passend ist, da dort ein mehr eingehendes Verarbeiten des Stoffes, hier nur ein Verweilen bei den Hauptpunkten eintreten kann. — Eine derartige Bearbeitung eines Leitfadens für die Schüler hat aber nach der Erfahrung des Verfassers den Vortheil, daß Leute, die ohnehin

wenig Zeit zum Nachlesen haben, mit einem Blick einen ganzen Abschnitt, der beim Unterricht vorgekommen, übersehen und sich dabei die Hauptmomente leicht wieder in's Gedächtniß zurückrufen können. Auch kann alsdann, bei geringem Umfang, das Buch ein sehr reichhaltiges sein. So behandelt die vorliegende Schrift die ganze eigentliche Physik und Mechanik, natürlich mit Ausschluß aller derjenigen Subtilitäten, die nur bei einem eigentlichen wissenschaftlichen Unterrichte vorkommen können. Auch sind, was den physikalischen Unterricht anbetrifft, die verschiedenen Abschnitte mit ungleicher Ausdehnung behandelt worden. Es wurde z. B. der auch für den niedern Techniker wichtigen Wärmelehre eine sorgfältigere Behandlung gewidmet, während der Lehren vom Schalle und Lichte, die für Schüler unserer gewerblichen Schulanstalten im Allgemeinen von minderer Bedeutung sind, erst am Ende und nur in dem Allerwesentlichsten gedacht wurde.

Zur Erzielung eines klaren Verständnisses wurden, was immer Hauptsache ist, dem Büchlein viele Figuren und eine große Anzahl Aufgaben beigegeben.

Die eingehaltenen Maße sind zunächst das meterische und sodann das verwandte badische mit dem nun bald überall angenommenen Zollpfund; übrigens ist auch auf andere Landesmaße vorkommenden Falls Bedacht genommen und am Schlusse des Werkchens eine Reductions-Tabelle beigegeben worden.

Als Handbuch für den Lehrer dient für den physikalisch-chemischen Theil jedes größere Lehrbuch der Physik und Chemie, an deren guten Auswahl es nicht mangelt. Für den mechanischen Theil aber dient vorzugsweise das mehrerwähnte, ebenfalls in zweiter Auflage und im gleichen Verlage erschienene Handbuch der „Mechanik für Gewerb- und Handwerkerschulen“, dem sich das vorliegende Werkchen in den bezüglichen Abschnitten innig anschließt.

Der Verfasser wünscht dem Werkchen eine günstige Aufnahme und bittet seine verehrten Herren Collegen und Schulbehörden um eine nachsichtige Beurtheilung.

Pforzheim im April 1860.

Ph. Huber.

Inhaltsanzeige.

Einleitung.

Seite

Gegenstand und Zweck des Unterrichts ... 1

I. Allgemeine Eigenschaften der Materie.

1. Ausdehnung. Materie. Volumen. Masse ... 1
2. Figur. 3. Undurchdringlichkeit. — Molekularkräfte ... 2
4. Porosität. 5. Zusammendrückbar- und Ausdehnbarkeit. 6. Theilbarkeit. 7. Bewegbarkeit ... 2
8. Beharrungsvermögen (Trägheit). — **Kraft.** Widerstand. — **Gleichgewicht** ... 2
9. Anziehungskraft (Schwerkraft). — Fallen der Körper. **Gewicht** und **Masse** ... 3

II. Besondere Eigenschaften oder Verschiedenheit der Körper.

a. Aeußere oder mechanische Verschiedenheit.

1. Aggregatzustände. 2. Krystallform. 3. Dichte. 4. Farbe, Härte, Weichheit, Sprödigkeit ꝛc. 5. Elasticität ... 3
6. und 7. Cohäsion und Adhäsion. — Haarröhrchen-Anziehung. Endos- und Exosmose ... 3

b. Innere oder chemische Verschiedenheit.

Chemische Betrachtung des Stoffes. — Elemente. Verbindung und Scheidung. Chemische Anziehung oder Verwandtschaft. Auflösung und Fällung ... 4
Wahlverwandtschaften. — Chemische Veränderungen und Thätigkeiten. (Gährung. Destillation und Sublimation, Abdampfen) ... 4

Elemente.

Erklärung ... 5

A. Nichtmetalle.

1. **Sauerstoff.** — Oxydation. Verbrennung. — Säuren und Alkalien. Salze. Neutrale Körper 5
2. **Wasserstoff.** — Wasser. Knallgas und Knallgasgebläse. Löthlampen. Wasserstoffzündmaschinen 6
3. **Stickstoff.** — Atmosphärische Luft. **Salpetersäure.** Ammoniak ... 6
4. **Kohlenstoff.** — Formen: Diamant, Graphit, Thier-, Pflanzen- und Steinkohle, Eigenschaften der organischen Kohle. — Verkohlung. — Kohks ... 7

Kohlensäure. Bildung und Eigenschaften. — Sauerwasser. Kohlensaurer Kalk. — Wechselwirkung zwischen Thier- und Pflanzenleben. — Stoffwechsel. **Athmung** und **Nahrung** ... 7
Kohlenoxydgas (Giftige Kohlendämpfe) ... 8
Leichtes Kohlenwasserstoff-, Sumpf- oder **Grubengas** ... 8
Schweres Kohlenwasserstoff- oder **Leuchtgas.** — Darstellung und Prüfung des Beleuchtungsgases. — **Paraffin** ... 9

5. **Schwefel.** - Schwefelblumen. Schweflige Säure. **Schwefelsäure.** — Schwefelwasserstoff 10
6. **Phosphor.** — Phosphorsäure. Phosphorwasserstoff (Irrlichter). Phosphorsaurer Kalk (Knochen) 10
7. **Chlor.** — Chlorwasserstoff (Salzgeist). **Salzsäure. Königswasser.** Chlorstickstoff. Chlorkalk (Bleichen). Chlornatrium (Kochsalz) ... 11
8. **Bor.** — Borsaures Natron (Borax). — 9—13. **Selen. Kiesel. Brom. Jod. Fluor** ... 11

B. Metalle.

Kennzeichen und Verhalten derselben. Edle und unedle. Oxydation und Reduction. Vorkommen: Gediegen, Erze, Legierungen. — **Scheiden** und **Abtreiben** ... 12
Tabelle über die spezifischen Gewichte und die Schmelzpunkte der Metalle ... 12

1. **Eisen.** — Roh- und Schmiedeisen. Eisenrost. Schwefeleisen. Eisenvitriol ... 12

Stahl. Darstellung desselben. — Roh-, Cement- und Gußstahl. Härten und Anlaufen des Stahls. Verstählung ... 13

Seite

2. **Blei.** — Bleiglätte. Mennige. Bleiweiß. Bleizucker 14
3. **Zinn.** — Stanniol. Verzinnen. Musivgold. Zinnsalze 14
4. **Zink.** — Weißer Vitriol 14
5. **Kupfer.** — Legierungen mit Zink: Messing, Tombak, Semilor ꝛc.; mit Zinn: Bronze, Kanonen- und Glockengut. — Neusilber 15
Kohlensaures Kupfer. Kupfervitriol. Grünspan 15
6. **Silber.** — Methoden der Darstellung. Abtreiben. Amalgamiren. — Darstellung von reinem Silber 15
Legierungen. Maßstab. Rauhe und feine Mark. Schrot und Korn. Münzen. Münzfüße. — Probiren. Versilbern 16
7. **Gold.** — Gewinnung. Abtreiben und Scheiden. Darstellung von chemisch reinem Gold 17
Legierungen. Maß derselben. Gehalt der Goldmünzen und Bijouteriewaaren. Vergleichende Metallwerthe 18
Probiren der Legierungen. Methoden der Vergoldung. Sieden, Beizen und Färben der Legierungen 18
8. **Platina.** — Platinaschwamm. Wasserstoffzündmaschinen 20
9. **Quecksilber.** — Amalgame. Zinnober 20
10. **Wismuth.** — Leichtflüssige Legierungen. Rose'sches Metall 21
11—47. Uebrige Metalle von keiner oder zum Theil nur geringer technischer Bedeutung 21
Leicht- und Erdmetalle. Salzbildende Metalle, insbesondere **Kalium** und **Natrium.** — **Sauerstoff- und Haloidsalze.** Darstellung derselben 21
Aluminium. Darstellung und Eigenschaften 22
Glas. — **Wasserglas** 22

III. Von der Bewegung der Körper.

1—4. Bewegungsarten und deren Entstehung. Weg. **Geschwindigkeit** 23
5. Berechnung der gleichförmigen Bewegung 23
Aufgaben 24
6—9. Beschleunigte Bewegung. Berechnung derselben. **Beschleunigung. Fallgesetze** 24
10. Verzögerte Bewegung 26
Aufgaben 26

IV. Von den Kräften, deren Maßbestimmung und Wirkungsgröße.

1. und 2. Arten der Kräfte und Maß derselben. — **Dynamometer** 28
3. und 4. Vergleichung der Kräfte nach den erzeugten Geschwindigkeiten und bewegten Massen 29
Aufgaben 30
5. und 6. **Arbeit einer Kraft.** Fußpfund. Kilogrammeter. Pferdekraft 32
7. Nutz- und Nebeneffekt 33
Aufgaben. — (Rammmaschine.) 33
8. Wirkungsfähigkeit einer bewegten Masse. **Lebendige Kraft** 35
Aufgaben 36

V. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte und der von diesen erzeugten Bewegungen.

a. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

1—5. Begriff der Kräftezusammensetzung. Mittelkraft und Seitenkraft. — Kräfterichtungen. **Parallelogramm der Kräfte** 39
6. Zerlegung einer Kraft nach gegebenen Richtungen 40
7—9. Zusammensetzung und Zerlegung parallel wirkender Kräfte. — Seitendrücke 41
10. **Statisches Moment** 42
Aufgaben. — (Druckbestimmungen bei Dach- und Brückenconstructionen) 43

b. Zusammensetzung und Zerlegung der Bewegungen.

1. und 2. Zusammengesetzte Bewegung. — Wurfbewegung 49
3. Centralbewegung. Centripetal-, Tangential- und Centrifugalkraft 50
4. und 5. Bewegung auf der schiefen Ebene. Pendelbewegung. — Pendellänge und Schwingungszeit. Sekundenpendel 51

VI. Vom Schwerpunkt der Körper.

1. Schwerpunkt und Schwerlinie 52
2.—4. Schwerpunkt der Linien, Flächen und Körper 53
5. Stabilität der Körper 54

Seite

VII. Von den Bewegungswiderständen.

a. Von der Reibung.

1. Begriff und Arten der Reibung 54
2. und 3. Abhängigkeit und Bestimmung der Reibung 55
Tafel der Reibungscoefficienten für gemeine gleitende und Zapfenreibung 56
4. und 5. Rollende Reibung. Reibung der Fuhrwerke 57
Aufgaben 58

b. Von der Steifigkeit der Seile.

1. und 2. Bestimmung des Steifigkeitswiderstandes 59
Aufgaben 60

c. Von dem Widerstande der Flüssigkeiten.

1. und 2. Abhängigkeit und Größe desselben 60
Aufgaben 61

VIII. Von der Festigkeit der Körper.

Arten der Festigkeit 61

a. Von der Festigkeit gegen das Zerreißen.

1. und 2. Bestimmung derselben. Größe des Festigkeits- und Sicherheitsmoduls 61
Aufgaben 63

b. Von der Festigkeit gegen das Zerdrücken.

1. und 2. Größe und Abhängigkeit derselben von der Höhe. Modul 64
Aufgaben 65

c. Von der Festigkeit gegen das Abbrechen.

1—3. Bestimmung der relativen Festigkeit für verschiedene Querschnittsformen 66
4—6. Einfluß der Unterstützungs- und Belastungsart. — Tafel des Moduls 69
6. und 7. Stärke der Wellzapfen. — Stärkster Balken 70
Aufgaben 71

d. Von der Festigkeit gegen das Zerdrehen.

1—4. Größe derselben. — Zapfendurchmesser 72
Aufgaben 73

IX. Von den mechanischen Potenzen oder Elementarmaschinen.

1. und 2. Grundgesetz der Wirksamkeit der Maschinen. Zahl der Maschinenelemente 74

1. Vom Hebel.

1—4. Begriff und Arten des Hebels. Gesetz des Gleichgewichtszustandes. — Anwendungen 75
Aufgaben 77

2. Das Wellrad.

1—3. Erklärung und Arten des Wellrads. Gleichgewicht am Wellrad. — Anwendungen 79
Aufgaben 82

3. Von der Rolle.

1—4. Feste und lose Rolle. Verhältniß zwischen Kraft und Last. — Anwendungen 84
Aufgabe 85

4. Von der schiefen Ebene.

1—3. Erklärung. Kraftrichtungen. Gleichgewicht für verschiedene Fälle 85
4. Anwendungen, vorzüglich auf Straßen und Eisenbahnen 86
Aufgaben 87

5. Vom Keil.

1—4, Erklärung. Kraft und Last. Anwendungen 88
Aufgaben 90

Seite

6. Von der Schraube.

1—3. Begriff. Schraubengang. Ganghöhe. Arten von Gewinden. Verhältniß zwischen Kraft und Last 90
4. und 5. Anwendungen. Größenverhältnisse 92
Aufgaben 92

X. Von der Anwendung und Verbindung der mechanischen Potenzen zu zusammengesetzten Maschinen.

Allgemeines Wirkungsgesetz 93

A. Von den Hebelverbindungen.

1. und 2. Verschiedene Arten von Hebelverbindungen. — Kniehebel 93

Von den Wagen.

1. **Die gemeine Wage.** Erfordernisse derselben. Abwägen mit einer falschen Wage 95
2. **Die Schnellwagen.** Verschiedene Arten 96
3. **Die Zeigerwage** 97
4. **Zusammengesetzte** oder **Brückenwagen.** Gemeine tragbare und große Straßenwage 98
5. **Federwagen.** Arten derselben 101

B. Von den Verbindungen der Wellräder.

Von den Räderwerken.

1. und 2. Riemen-, Ketten- und Zahnräder. — Arten der Zahnräder 102
3—6. Verhältniß zwischen der Geschwindigkeit und den Umdrehungsanzahlen bei Räderwerken. — Verhältniß zwischen Kraft und Last 103
7. und 8. Reibungseinfluß und passende Größenverhältnisse 106
Aufgaben 107
Winden und Häspel. — Fuhrmannswinde. Hebezeuge. **Der Krahn** 109
Aufgabe 111

C. Von den Rollenverbindungen.

1—3. Rollen- oder Potenzenzug. Flaschenzug. Einfluß der Reibung 111

D. Verbindungen verschiedenartiger mechanischer Potenzen.

Die Keilpresse. Endlose Schraube. Differentialschrauben verschiedener Art 113

XI. Eigenschaften und Verhalten der tropfbaren Flüssigkeiten.

A. Eigenschaften des Wassers.

1—4. Bestandtheile. Vorkommen. Dichtigkeit 119
5. und 6. Gewichtsverlust der Körper im Wasser — **Spezifisches Gewicht.** Bestimmung desselben. **Aräometer** 120
Tafel der spezifischen Gewichte 122

B. Vom Wasserdruck.

1—4. Fortpflanzung des Druckes durch Flüssigkeiten. Vervielfältigung des Druckes. Boden- und Seitendruck 123
5—7. Auftrieb. Reaction der Flüssigkeiten. Communicirende Gefäße 124
8. und 9. Folgen und Anwendungen. Hydrostatischer Blasebalg. Extractions- und **hydraulische Presse.** Berechnung der letztern 126
Aufgaben 128

C. Vom Ausflusse aus Gefäßen.

1—5. Ausflußmenge durch eine Oeffnung. Contractions-, Geschwindigkeits- und Ausflußcoefficient 130
6. Ausfluß bei theilweiser Contraction 132
7. Ausfluß bei Ueberfällen 132
8. und 9. Ausfluß wenn kein Zufluß stattfindet, oder bei ungleichen Drücken auf den Wasserspiegel und gegen den Ausfluß 133
Aufgaben 133

D. Von der Bewegung des Wassers in Röhren und Flüssen.

1—4. Hindernisse des Durchflusses. Mittlere Geschwindigkeit der Flüsse. Messen der Geschwindigkeit. Wassermessung. Wasserzoll 137
Aufgaben 138

Seite

E. Von der Wasserkraft und den Wasserrädern.

1. und 2. Das Wasser als bewegende Kraft. Arten von Wasserrädern 139
3—5. Wirkungsgröße des Wassers. Wirkungsgrad (Nutzeffekt) der Wasserräder. Vortheilhafteste Geschwindigkeit 139
Beschreibung der Wasserräder. 1—3. Oberschlächtiges Rad. Verschiedene Arten mittel- und unterschlächtiger Räder 140
4—7. Fourneyron'sche, schottische, Henschel-Jonval'sche und Zuppinger'sche Turbine 145
Anwendung der verschiedenen Wasserräder 149

XII. Eigenschaften und Verhalten der elastischen Flüssigkeiten.

A. Eigenschaften der atmosphärischen Luft.

1. und 2. Atmosphäre. Bestandtheile. Diffusion. — Hygrometer 149
3—5. Gewicht und Elasticität der Luft. Reaction und Auftrieb der Gase. Luftballons 150

B. Vom Luftdruck.

1—3. Messen desselben. **Barometer**. Anwendung desselben. Atmosphärendruck 151
4. und 5. Expansivkraft gepreßter und erhitzter Gase. — **Mariotte**'sches und **Gay-Lussac**'sches Gesetz 152
6. Messung höherer Spannungen durch **Manometer** 153
7. und 8. Herstellung eines luftleeren Raums. **Luftpumpe**. Erscheinungen im leeren Raum 153
9. Verdichtete (comprimirte) Luft. Compressionspumpe 154

C. Erscheinungen und Vorrichtungen, die sich auf den Luftdruck gründen.

1. und 2. Verschiedene Anwendungen. Heber. Zauberbecher, Windkessel, Windbüchse ꝛc. 155
3—8. **Pumpen.** Druck- und Hebepumpen. Doppeltwirkende und Centrifugalpumpen. **Feuerspritze** und **Gebläse** 156
9. und 10. Wassermenge und Betriebskraft bei Pumpen 159
Aufgaben 160

XIII. Von der Wärme.

1. und 2. Begriff. Wärmeerzeugung. Mechanische, chemische und dynamische Erregung. — Thierische Wärme. **Lebensproceß. Klima.** — Erdwärme 161
3. Wärmemessung **Thermometer.** Arten desselben. Thermometrograph. Pyrometer 163
4. Temperatur. — Mittlere Temperatur. — Isothermen 164
5. Fortpflanzung der Wärme durch Leitung und Strahlung. — Gute und schlechte Leiter. Wasser- und Luftheizung. Winde. — Durchlassen, Aufnehmen und Zurückwerfen der Wärmestrahlen 165
6. Concentriren der Wärmestrahlen. Brenngläser und Brennspiegel 167
7—9. Spezifische Wärme der Körper. Binden und Freiwerden der Wärme. — **Wärmeeinheit.** Werth der Brennmaterialien 168
10. Ausdehnung und Verwandlung des Aggregatzustandes durch die Wärme. — **Gefrier-, Schmelz-** und **Siedepunkt** der Körper. — Schmelzmittel. Einfluß auf das Sieden 169
11. und 12. Zurückstoßende Kraft der Wärme. — Verbrennung und deren Producte 171

XIV. Von der Dampfkraft und den Dampfmaschinen.

A. Von den Eigenschaften des Wasserdampfes.

1—3. Dampfbildung. Spannung und Dichtigkeit des Dampfes 172
4. und 5. Gesättigter Dampf. Verhalten des abgesperrten Dampfes 173
6. und 7. Wärmemenge zur Dampferzeugung. Brennmaterialienverbrauch 174

B. Von den Dampfmaschinen.

1—3. Einfache, atmosphärische Maschine. — Watt'sche Verbesserungen 175
4—7. Manometer. Sicherheitsventile und deren Berechnung. Kesselconstructionen mit **Aufgaben** 177
8. Beschreibung der **Watt**'schen Niederdruckmaschinen 182
9. Systeme der Dampfmaschinen 185
10. Beschreibung einer Hochdruckmaschine (Locomotive) 186
11. Beschreibung einer Expansionsmaschine 191
12. und 13. Berechnung der Dampfmaschinen. Wirkungsgrad 194
14. Berechnung der Locomotive 195
Aufgaben 196
Von der Messung des Nutzeffekts einer Maschine durch das Bremsdynamometer 199

Seite

XV. Vom Magnetismus.

1. und 2. Erklärung und Hervorrufung des Magnetismus 200
3—5. Verstärkung der Magnete. Magnetische Wirkung der Erde. Declination und Inclination. — Anwendung 201

XVI. Von der Elektricität.

A. Elektricität durch Reibung.

1—3. Erklärung. Wirkungen der Elektricität. Elektrische und unelektrische Körper. **Leiter.** Isoliren. — Entgegengesetzte Elektricitäten. Elektrometer 202
4. und 5. Verstärkte Elektricitätserregung. Elektrisirmaschine. Elektrophor. Leydner Flasche. Batterie. — Wirkungen 203
6—8. Fortpflanzung. Atmosphärische Elektricität. Schutz gegen den Blitz 204

B. Galvanismus oder Berührungselektricität.

1—3. Hervorrufung. Galvanische Batterie (Volta'sche Säule). Elektrischer **Strom.** — Wirkungen desselben. Messung der Stromstärke. Galvanometer 204
4. Anwendungen der galvanischen Batterien zum galvanischen Vergolden 2c. und zur Galvanoplastik 206
5. Leitungsfähigkeit der Körper 207

C. Elektromagnetismus.

Erregung des Magnetismus durch einen elektrischen Strom 207
Anwendung in der Telegraphie. Erfordernisse. — Beschreibung verschiedener Arten elektrischer Telegraphen. — Elektrische Uhren 208

D. Elektricitätserregungen auf verschiedenen Wegen.

Erregung durch chemische Prozesse. Wärme, Haarröhrchen-Anziehung, Druck und durch Magnetismus 210
Hervorrufung eines elektrischen Stroms durch einen schon vorhandenen Strom. — Inductionserscheinungen 210

XVII. Vom Schall.

Entstehung. Ton. Schallträger. Verstärkung und Schwächung. — Fortpflanzung. Rückwerfung. — Hören. **Ohr** 211

XVIII. Vom Licht.

Entstehung. Leuchtende und beleuchtete Körper. Fortpflanzung. Lichtstärke. — Zurückwerfung. Brechung. Farben. — Sehen. **Auge** 212

Anhang.

Tabelle zur Vergleichung oft vorkommender Maße und Gewichte 215

Einleitung.

Gegenstand und Zweck des Unterrichts. Natur als Inbegriff alles Erschaffenen. — Natürliche und künstliche Körper. — Organische und unorganische Körper. (Organe = Werkzeuge.) — Drei Naturreiche.

Naturwissenschaften: Naturgeschichte und Naturlehre. Physik (Naturlehre im engern Sinne) und Chemie lehren die Eigenschaften, Kräfte und Veränderungen der Materie, sowie die Bedingungen, unter welchen letztere erfolgen; die Chemie insbesondere handelt von den letzten oder Grundstoffen aller Körper, sowie von deren Trennung und Zusammensetzung (Scheidekunst). Die Mechanik lehrt die Gesetze und Bedingungen kennen, unter welchen Körper in Bewegung gelangen, oder im Gleichgewicht (wenn entgegengesetzte Kräftewirkungen sich aufheben) sind.

Erscheinungen. Beobachtungen. Versuche (Experimente — Apparate). — Naturgesetze und Hypothesen.

Nutzen des Unterrichts: 1) Kenntniß der Erscheinungen ꝛc. Als vernünftiges Wesen soll sich der Mensch hierüber Rechenschaft geben können. 2) Bewahrt vor Schaden, Irrthum und Aberglauben. 3) Lehrt umgekehrt die Kräfte der Natur benutzen. 4) Stärkung des Denk- und Urtheilsvermögens. (Geistiges Kulturmittel.) 5) Hebung des religiösen Gefühls.

I. Allgemeine Eigenschaften der Materie.

Aller Stoff besitzt ohne Ausnahme gewisse Eigenschaften, die man darum allgemeine nennt. Diese, keinem Körper mangelnden Eigenschaften sind:

1) Ausdehnung. Jeder Körper nimmt einen Raum ein. — Raum und Materie (Stoff). Menge des Raums ist Volumen; Menge der Materie = Masse. Dichte. Messen des Raums; Linien-, Flächen- und Körpermaß. Maßstäbe. Mikrometerschrauben. Blechlehren. Mikroskop. — Beim Flächenmaß gehen im 10theil. Maß 100 □″ auf 1 □′ ꝛc.; im 12theil. = 12 . 12 = 144. — Beim

körperlichen (kubischen Maß) gehen im 10theil. Maß 1000 Cubikzoll auf 1 Cubikfuß; im 12theil. = 12^3 = 1728. — Vergleichung der Maße s. Anh.

2) Figur. Aller Stoff ist begränzt, hat Form. Regelmäßig oder unregelmäßig. — Krystalle, Blumen, Staub der Schmetterlingsflügel ꝛc.

3) Undurchdringlichkeit. Kein Körper kann den Raum einnehmen, den schon ein anderer einnimmt. Ein eindringender Körper verdrängt bloß die Materie des erstern oder füllt die leeren Zwischenräume. Beisp. Aufgekitteter Trichter. Taucherglocke ꝛc.

Die genannten drei Eigenschaften der Körper nennt man wesentliche, da man sich ohne dieselben die Existenz eines Körpers gar nicht denken kann.

Atome d. i. kleinste unveränderliche Massentheilchen der Körper. Von einander getrennt durch den Aether. — Molekularkräfte: eine anziehende (Cohäsionskraft) in den Atomen, eine abstoßende (Expansionskraft) in den umgebenden Aetherhüllen.

4) Porosität. Jeder Körper hat Zwischenräume, die nicht mit seiner Materie ausgefüllt sind. Firniß dringt in Marmor. Wasser läßt sich durch Metalle pressen. Diese nehmen nach dem Schmieden (Walzen) einen kleinern Raum ein. Filtriren. Luftblasen in Wasser. Zucker und Salz in Flüssigkeiten. Wasser und Weingeist. Verdichtungen (öfters) bei Zusammenschmelzungen.

5) Zusammendrückbar- und Ausdehnbarkeit. Durch veränderten Druck und veränderte Temperatur kann jeder Körper in seinem Raume zu- oder abnehmen. — Billardkugel auf einer Marmortafel. Heiße Kugel. Eine mit Luft gefüllte Blase. Flüssigkeiten. Thermometer. — Bestätigung der Porosität durch die Zusammendrückbarkeit.

6) Theilbarkeit. Geht ins Unendliche, physisch begränzt, nie bis zu den Atomen.

Beisp. Goldblatt, Platindraht, Baumwollenfaden, Theilmaschinen, Infusorien, Farb- und Riechstoffe.

7) Bewegbarkeit. Kein Körper in absoluter Ruhe.

8) Trägheit oder Beharrungsvermögen. Jeder Körper bleibt in dem Zustande (der Ruhe oder Bewegung), in den er versetzt wurde, bis er durch irgend eine Ursache in einen andern Zustand gebracht wird. Alle Materie ist träge, d. h. sie verharrt in ihrem Zustande. Die Ursache einer entstehenden Bewegung oder Bewegungsänderung ist eine Kraft. Soll ein Körper zur Ruhe gelangen, so kann auch dieses wieder durch eine Kraft verursacht werden; es kann aber auch die Folge eines bloßen Hindernisses oder Bewegungswiderstandes (Reibung, Luftwiderstand ꝛc.) sein.

Gleichgewicht zwischen verschiedenen, größern oder kleinern Kräften, wenn sich deren Wirkungen gegenseitig aufheben; z. B. bei den Wagen.

Bewegung der Himmelskörper. Schwungrad. Fallen auf Wagen und Schiffen. Befestigen des Hammerstiels. Kartenblatt. Schießen durch Glas.

9) Anziehungskraft. Jeder Körper zieht den andern an. Die Anziehungskraft wächst mit der Masse eines Körpers und nimmt ab mit dem Quadrate der Entfernung. Schon bemerkt an Kugeln, die neben hohen, senkrechten Bergabhängen aufgehängt waren. — Anziehung der Erde. Da diese viel größer ist, als die Anziehung zweier irdischer Körper unter sich, so folgen alle Körper auf der Erde dieser Kraft — Schwerkraft. — Fallen nach dem Mittelpunkt (lothrecht). Druck auf eine Unterlage. — Gleiche Anziehung aller Körper im leeren Raum. Gewicht. Veränderlichkeit desselben, — von der Größe der Anziehungskraft abhängig, darum Abnahme auf Höhen. Federwagen. Sekundenpendel, Zunahme seiner Schwingungen gegen die Pole. — Abplattung der Erde. — Gewicht und Masse; diese unveränderlich. Absolutes und specifisches Gewicht.

II. Besondere Eigenschaften oder Verschiedenheit der Körper.

a. Aeußere oder mechanische Verschiedenheit.

1) Aggregatzustände: Feste, flüssige und luftige Körper; — von Druck und Temperatur abhängig.

2) Krystallform. Die Bildung setzt immer einen flüssigen oder luftigen Zustand voraus.

3) Dichtigkeit. — Spec. Gewicht. Wasser als Einheit. Lockere Körper.

4) Farbe, Härte, Weichheit, Sprödigkeit, Biegsamkeit 2c.

5) Elasticität bei Kautschuck, Elfenbein, Stahlfedern, namentlich aber Gasen (elastische Flüssigkeiten). Geringe Elasticität des Wassers. — Elasticitätsgränze.

6) Cohäsion = Zusammenhang oder Anziehung der Theile eines und desselben Körpers. Größer bei festen als flüssigen Körpern und scheint bei den luftigen gar nicht vorhanden. — Vergrößerung der Cohäsion durch Schmieden, Gerben, Legieren 2c. — Festigkeit der Körper.

7) Adhäsion, d. i. Anhängen zweier Körper aneinander. Naßwerden, Leimen, Zeichnen, Löthen, Färben 2c. — Je mehr Berührungspunkte, desto größer. — Geschliffene Metallplatten, Glasplatten und Wasser, zerschnittene Blei- und Gummistücke 2c. Fett und Staub heben die Adhäsion des Wassers auf. (Hexenmehl.) — Oelanstrich. — Queck-

silber adhärirt nicht an Glas, Eisen 2c., aber an Kupfer, Silber u. s. w. Quecksilber und Wasser in Glasröhren. — Wären zwei Platten (Attractionsplatten) vollkommen eben, so daß sie sich in allen Punkten berührten, so wäre die Adhäsion = der Cohäsion.

Eine Folge der Adhäsion mancher flüssigen Stoffe zu andern Körpern sind die eigenthümlichen Erscheinungen der Haarröhrchen-Anziehung und der sogen. Endos- und Exosmose.

Haarröhrchen-Anziehung (Capillarität) wirksam in feinen Röhren, d. i. das Aufsteigen flüssiger Körper gegen das Gesetz der Schwere, so lange die von der Wand ausgeübte anziehende Kraft größer ist, als das Gewicht der aufgesaugten Flüssigkeiten nebst den allenfalls noch andern abwärts wirkenden anziehenden Kräften. — Wirkung des Dochtes, angefeuchteter Zucker, Sand 2c.; erklärt das Steigen der Säfte im Pflanzen- und Thierkörper.

Endos- und Exosmose. Durchgehen verschiedener Flüssigkeitsmengen durch die Poren einer Haut. Wahl der aufgesaugten Säfte beim Pflanzen- und Thierkörper. Ausscheidungen bei letztern. — Versuch mit Wasser und Kupfervitriollösung. Wird letztere in eine, unten durch eine Thierblase abgeschlossene Glasröhre gebracht und in Wasser eingetaucht, so gehen beide Flüssigkeiten durch die Blase, aber mehr Wasser als Vitriollösung.

b. Innere oder chemische Verschiedenheit.

Daß Silber von Salpetersäure aufgelöst wird, Gold aber nicht, sind innere oder chemische Verschiedenheiten. Ebenso das verschiedene Verhalten gewisser Gase in Bezug auf Brennen 2c. Der Grund davon ist die eigenthümliche Natur der letzten oder Grund-Bestandtheile der Körper — Elemente, sowie deren Verbindungen.

Chemische Betrachtung des Stoffes. — Verbindung und Scheidung. Chemische Anziehung oder Verwandtschaft (Affinität). — Begünstigung der chemischen Verbindungen durch Wärme, Licht, Elektricität 2c. — Auflösung, Auflösungsmittel. Sättigung. Concentrirte Lösung. Einfluß der Temperatur. (Salpeter löst sich mehr in heißem, Kalk mehr in kaltem Wasser. Kochsalz löst sich gleich; immerhin 37 Th. in 100 Th. Wasser; also enthalten 100 Th. gesättigte Lösung 27 % Kochsalz). — Fällen, Niederschlag, Fällungsmittel (Reagentien). — Gemenge.

Chemische Verbindungen erfolgen immer in bestimmten Gewichtsverhältnissen — Mischungsgewichte. —

Wahlverwandtschaften. a) Einfache: Kreide mit Schwefelsäure; diese treibt die Kohlensäure aus. Silberlösung in Salpetersäure gefällt durch Kupfer; dieses verbindet sich mit der Säure, das Silber fällt als metallisches Pulver. Oder gefällt durch Salz-

säure oder Kochsalzlösung; dabei bildet sich Chlorsilber, das ausgeschieden wird 2c.

b) Doppelte: Kupfervitriol- (schwefelsaures Kupferoxyd) und Soda- (kohlensaures Natron) Lösung zusammengebracht, geben kohlensaures Kupferoxyd (Mineralgrün) und schwefelsaures Natron (Glaubersalz) 2c.

c) Disponirende: Fett und Wasser bilden mit Wasser durch Vermittlung der Laugensalze die Seife. — Essigbildung durch das Ferment.

Chemische Veränderungen und Thätigkeiten: Gährungen, geistige, saure und faule. (Umwandlung des Zuckerstoffes in Weingeist, Essig- und Milchsäure). — Destilliren (Weingeist, Quecksilber, Zink 2c.); Sublimiren (Zinnober, Salmiak, Schwefelblumen 2c.); Abdampfen (Salzlösungen 2c.). Unterschied!

Elemente.

Darunter versteht man jene einfachen, unzerlegbaren Stoffe, aus welchen an und für sich schon oder aus ihren Zusammensetzungen alle vorhandenen Körper bestehen, weshalb sie auch Grundstoffe genannt werden. Die gegenwärtig bekannte Zahl derselben beträgt 60, wovon 13 sogen. Metalloide (Nichtmettalle), die übrigen Elemente aber Metalle sind. Bei einigen Elementen ist ihre Natur noch so unentschieden, daß manche Schriftsteller unter den Nichtmetallen 15 Grundstoffe aufführen.

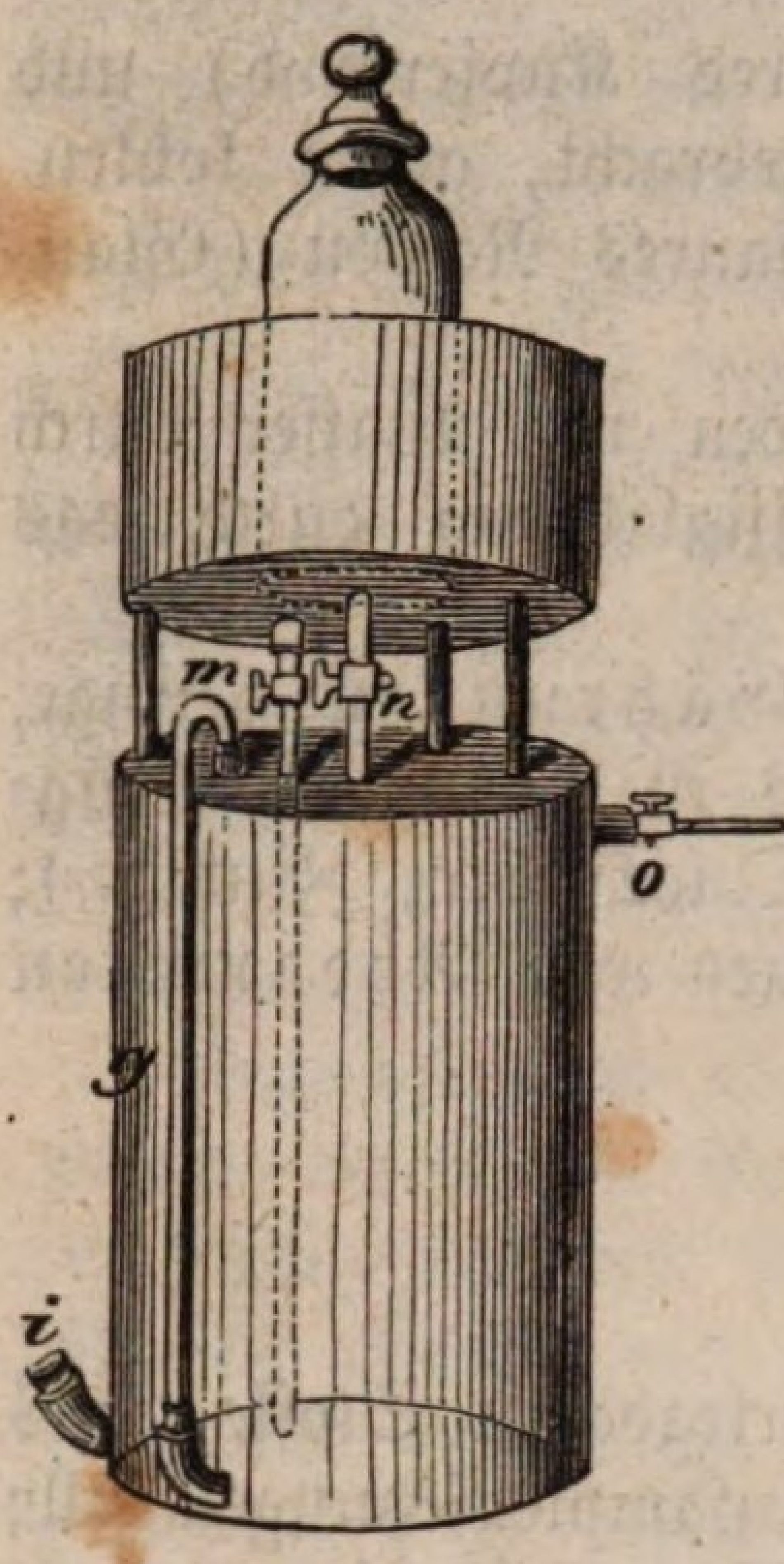
A. Nichtmetalle.

1) **Sauerstoff.** Farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Unbedingt nöthig zum Leben und Brennen. Begünstigung der Verbrennung durch bloßen Sauerstoff. — Gebläse. — Sehr verbreitet, in Wasser und Luft. Verbindet sich fast mit allen andern Grundstoffen. Oxydation, namentlich der Metalle (Rost 2c.). Oxyd immer schwerer als das Radikal. Ursache des Sauerwerdens (Essiggährung); — in den meisten Säuren. — Verbrennung (Athmung) = Oxydation. — Reduction. — Oxyd, Oxydul, Suboxyd, Super- oder Hyperoxyd (verschiedene Oxydationsstufen). — Säuren sind meist saure Oxyde (Salzsäure kein Oxyd), blaues Lakmus rothfärbend. Säuren + basische Oxyde (Basen) = Sauerstoff-Salze. — Alkalien sind gewisse Salzbasen, ätzend, laugenbildend, geröthetes Lakmus wieder blaufärbend. — Neutral — keine Säure und keine Basis.

Darstellung des Sauerstoffes durch Abscheiden aus chlorsaurem Kali durch Erhitzen in einer Glasretorte über einer Spiritusflamme. — Beförderung durch Braunstein!

Versuche mit Sauerstoff: Ein glimmender Spahn brennt, Zunder, Kohle, Schwefel brennen mit schöner, Phosphor mit blendender Flamme.

Fig. 1.



Eisendraht brennt mit Funkensprühen. ꝛc. — Bildung von Kohlensäure, Phosphor= und schwefeliger Säure. — Gasauffangen. Gasometer. (S. Fig. 1.)

2) **Wasserstoff.** Gas, ohne Farbe, Geruch und Geschmack. Erstickt und löscht aus; selbst aber brennbar. Die Wasserstoffflamme ist nicht hellleuchtend, aber sehr heiß. 14 ½ mal leichter als Luft und 16 mal leichter als Sauerstoff. (Seifenblasen, Luftballone.) Bestandtheil des Wassers und der Leuchtmaterialien. Wasser = 1 Raumth. Sauerst. + 2 Raumtheile Wasserst.; oder = 8 Gewichtsth. Sauerst. + 1 Gewichsth. Wasserstoff. — Das Gemisch ist Knallgas. Wasserbildung bei dessen Verbrennung. — Knallgasgebläse für hohe Hitzgrade. Vorsicht! Löthlampen. — Wasserstoffzündmaschinen. (S. Platina.)

Darstellung des Wasserstoffs. Abscheidung aus Wasser, vermittelst Einwirkung achtfach verdünnter Schwefelsäure auf dünngeschnittenes Zink. Ohne Erhitzen. (Vorsicht am Anfang!) S. Fig. 2 und 3.

Fig. 2.

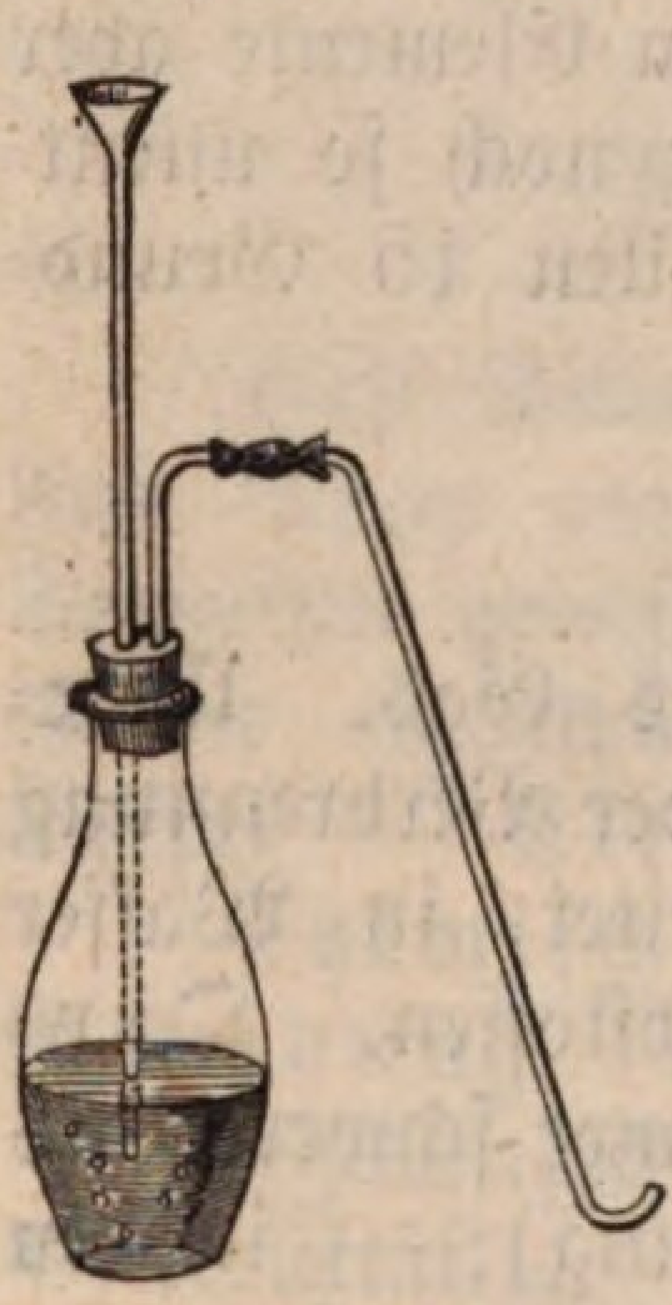
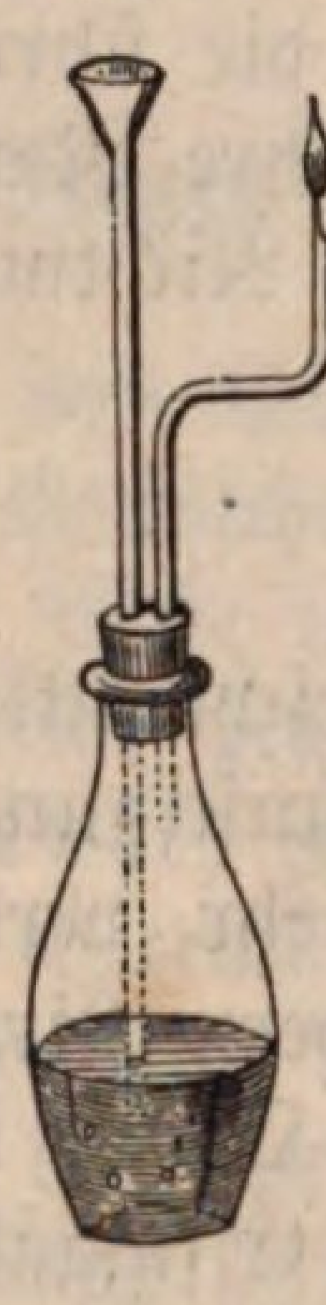


Fig. 3.



Darstellung des Knallgases. Mischung von 1 Raumth. Sauerstoff und 2 Raumth. Wasserstoff.

Versuche: Biegung von Glasröhren. Luftballon. Seifenblasen, Verbrennen derselben. Eintauchen eines brennenden Spahns. Wasserbildung in einem langen Bierglas, in einer Glasröhre (chemische Harmonika). — Explosion einer angezündeten, mit Knallgas gefüllten Thierblase. Hydrate = Verbindungen mit Wasser.

3) **Stickstoff.** Ebenfalls farb=, geruch= und geschmackloses Gas. Erstickt und löscht aus, nicht brennbar. ⁴⁄₅ der atmosphärischen Luft, ⅕ Sauerstoff (bloß gemengt). Im Thier= und Pflanzenkörper. Nahrungsmittel, aber bloß nährend. — Bildet mit Sauerstoff auch die Salpetersäure (Scheidwasser), mit Wasserstoff Ammoniak, bei der Fäulniß. — Darstellung der Salpetersäure aus Salpeter (s. Kalium) durch Abscheidung vermittelst Schwefelsäure. — Gleiche Zusammensetzung der atmosphärischen Luft und der Salpetersäure, — nur ist jene ein bloßes Gemenge.

Darstellung des Stickstoffs. Abscheidung aus der atmosphärischen Luft durch Verbrennung von Phosphor unter einer Glasglocke,

welche in einen Teller mit Wasser gesetzt ist. — Zuwarten, bis die Phosphorsäure, welche sich gebildet, vom Wasser ganz verschluckt wurde. — Thiere sterben sogleich.

Darstellung des Ammoniaks. Abscheidung aus Salmiak vermittelst frischbereiteten Kalkpulvers bei schwacher Erwärmung. (Wasser verschluckt viel von diesem Gas und wird dann sogen. Salmiakgeist).

4) **Kohlenstoff.** Feuerbeständig im luftleeren Raum, verbrennt im Sauerstoff (Luft) zu Kohlensäure. (Depretz'scher Versuch!) Sehr verbreitet; Hauptbestandtheil aller organischen Körper. Fester Körper; tritt in verschiedenen Gestalten auf, als:

a) Diamant. Edelstein, härtester Körper, meist wasserhell und farbenbrechend. Reinster Kohlenstoff, unlöslich. Roh 1 Karat (1/6 Den.) 24 bis 30 fl., als Brillant bis 150 fl. 2 Karate 4mal theurer, 3 Karate 9mal ꝛc. — Geschliffen als Tafelstein, Rosette und Brillant. Prüfung! — Zu Zapfenlagern ꝛc.

b) Graphit. Schwarzgrau, glänzend, fettig, meist pulverig. Zu Bleistiften (mit Thon), Tiegel, Schmiere, Ofenschwärze. — Leitet die Elektricität.

c) Thier- und Pflanzenkohle. Gase einsaugend, verdichtend (25faches Vol. Luft, 90faches Vol. Ammoniakgas, aber glühend in das Gasgemenge über Quecksilber gebracht). — Reinigend, entfärbend, erhaltend, namentlich poröse Kohle. (Uebelriechend. Wasser, Branntwein, Luft (Miasmen), gefärbte Weine, Zuckersaft; Verkohlen der Pfähle, Fässer, Fleischaufbewahren). — Farbmittel (Tusche ꝛc.).

Alle organischen Körper enthalten Kohlenstoff mit Wasserstoff und Sauerstoff, oft noch Stickstoff u. A. Verkohlung ist Ausscheidung der gasförmigen Stoffe durch Glühen bei Luftabhaltung. — Asche. Reiner Kohlenstoff gibt keine Asche. — Holz gibt 26—38 % Kohle.

d) Stein- und Braunkohle. Entstanden aus mächtigen*) Pflanzen durch Verschüttung und vulkanische Hitze; schwefelhaltig. Braunkohlen jünger. — Entschwefelung — Kohks — für manche Zwecke nöthig.

Die Pflanzenstructur (der Zellenbau) ist bei den Braunkohlen deutlich zu erkennen, bei den Steinkohlen weniger, in der Asche derselben aber sichtbar.

Bituminöser Schiefer ist ein Gemenge von verkohlten vegetabilischen Stoffen mit mineralischen Bestandtheilen; — unvollständige Verkohlung dabei.

Verbindungen des Kohlenstoffs. Mit Sauerstoff. a) Kohlensaures Gas (Kohlensäure). Farb- und geruchloses (verdichtbares) Gas, sauer reagirend, nicht brennbar, erstickend, schwer. Bildet sich bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Körper, bei der

---

*) Der stärkste Hochwald gäbe eine Kohlenschichte, deren Höhe nur wenige Zolle betrüge.

Gährung und beim Athmen. Bildung in der Erde. Im Sauerwasser, Bier und allen moussirenden Getränken. Wasser nimmt unter einem hohen Druck viel Kohlensäure auf. — Künstliches Sauerwasser. — Große Neigung zur Kalkerde. Gemeiner Kalk = kohlensaurer Kalk (Muscheln, Knochen). — Kalkbrennen. — Kohlensaure Salze s. Kalium und Natrium. — Vorsicht in Kellern, Gruben ꝛc.!

Darstellung der Kohlensäure. Abscheidung aus Kreide (kohlensaurer Kalk) vermittelst verdünnter Schwefelsäure, ohne Erhitzen.

Kohlensäure ist die Hauptnahrung der Pflanzen. — Wechselwirkung zwischen Pflanzen- und Thierleben — Stoffwechsel. — Athmung = Sauerstoffaufnehmen und Kohlensäureabgeben d. i. Verbrennung — Wärmeentwickelung! — Die Pflanzen geben (im Sonnenlicht) den Sauerstoff ab, den sie in der Kohlensäure aus der Atmosphäre vermittelst ihrer Blätter oder auch im Safte aufgenommen haben; die Kohlensäure wird zersetzt und der Kohlenstoff bleibt in der Pflanze zurück.

Nahrung: etwa 20 Elemente, hauptsächlich: Kohle, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, sodann Phosphor, Schwefel, Kalk, Kiesel, Eisen ꝛc. Darum verschiedene Nahrungsmittel nöthig! Milch enthält alle nöthigen Nahrungsstoffe!! — Werth des Weines nach dem Gehalt an Phosphorsäure bestimmt! — Einfluß des Winters, kältern Klimas und körperlicher Anstrengung auf den Ernährungsproceß.

Kohlensäure nicht $^1/_{10}$ Proc. der Atmosphäre. — Früherer Zustand. — Luft in Zimmern. Diffusion — durch Ritzen und Wände. Prüfung der ausgeathmeten Luft durch Kalklösung!

b) Kohlenoxydgas. Farblos, giftig, soll namentlich die Thätigkeit der Respirationsmuskeln aufheben, schwach brennbar. Hat nur halb so viel Sauerstoff als die Kohlensäure und bildet sich hauptsächlich bei glühenden Kohlen unter geringem Luftzug, d. i. bei unvollständiger Verbrennung. — Hochöfen. Kohlendampf!

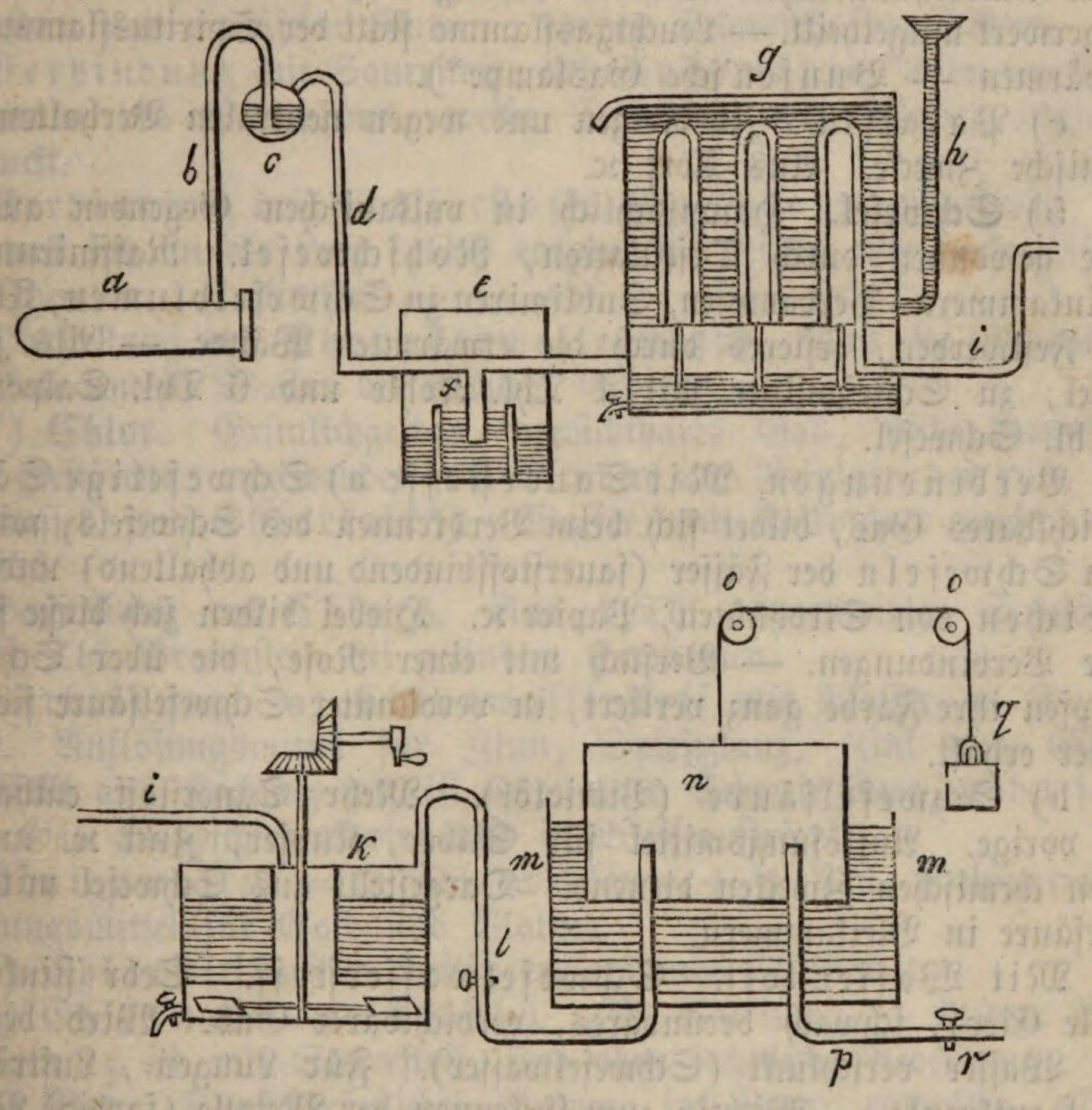
Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff. a) Sumpf-, Gruben- oder leichtes Kohlenwasserstoffgas. Ohne Farbe, Geruch und Geschmack, brennt schwach, ist sehr leicht. In Sümpfen, Steinkohlengruben (Schlagende Wetter, Sicherheitslampe). — Strömt oft aus der Erde (Ewiges Feuer).

b) Leucht- oder ölbildendes, auch schweres Kohlenwasserstoffgas. Enthält doppelt soviel Kohlenstoff, als voriges. Brennt mit heller Flamme; in allen Leuchtmitteln vorhanden oder sich bildend, also besonders im Beleuchtungsgas. — Explodirt, wie vorige Verbindung, nur in Vermischung mit Sauerstoff oder Luft (Knallgas). — Darstellung des Leuchtgases. Aus Alkohol mit 3 Raumtheilen concentrirter Schwefelsäure bei vorsichtiger Erwärmung.

Darstellung des Beleuchtungsgases. Aus Oel, Talg, Harz, Wachs, Steinkohlen, Holz, bituminösem Schiefer ꝛc. Durch Destillation in eisernen Retorten. Reinigung von Wasser, Theer, Am-

moniak, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff (von Letztern durch frischen Kalk). — Das gereinigte Gas enthält 3—24 %, bei uns gewöhnlich 6—10% Leuchtgas, dann Grubengas, Wasserstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff.

Fig. 4.



In Fig. 4 ist a die Retorte, b die Gasableitungsröhre, c die sogen. Vorlage und e die Theercisterne. In c und d verdichten sich die Wasserdämpfe und Theer; auch Ammoniak wird aufgesaugt. g ist der Kühlapparat, in h strömt kaltes Wasser zu; oft findet die Abkühlung nur in der Luft statt. i k ist der Reinigungsapparat, worin Kalkmilch, oder auch ausgebreitetes Kalkpulver sich befindet. n ist der Gasometer mit der Leitungsröhre p r. — Bessere Reinigung von Schwefelwasserstoff durch Eisenoxyd, nämlich durch Ocker oder auch durch Eisenfeilspäne, die sich in feuchter Luft oxydirten.

Prüfung des Beleuchtungsgases. Auf Gehalt an Leuchtgas, Reinheit, Druck und Lichtstärke. Ersteres geprüft durch Chlor; Reinheit durch Lakmus- und Curcumapapier, durch Kalk und Aetzkalilösung. — Druck, gemessen durch Manometer, soll im Allgemeinen gering sein, dabei weite Brenner. Einfluß der Höhe eines Ortes und der Weite der Leitungsröhren. — Prüfung der Lichtstärke durch Licht-

messer (Photometer), richtet sich nach dem Quadrat der Entfernung zweier Lichter.

Messung des Verbrauchs durch die Gasuhr. Diese ist eine Art Schaufelrad, gegen dessen gekrümmte Schaufeln das Gas drückt und es in Umdrehung setzt. Die Umdrehung wird dann einem Räder- und Zeigerwerk mitgetheilt. — Leuchtgasflamme statt der Spiritusflamme zum Erwärmen — Bunsen'sche Gaslampe*).

c) Paraffin. Zu Kerzen und wegen neutralen Verhaltens für chemische Zwecke. Aus Torf ꝛc.

5) **Schwefel.** Hauptsächlich in vulkanischen Gegenden aus der Erde gewonnen durch Destillation, Rohschwefel. Raffinirung in Steinkammern. Verdampfen, Sublimiren zu Schwefelblumen, Flüssig- und Festwerden, ersteres durch die erwärmten Wände. — Als Zündmittel, zu Schießpulver mit 1 Thl. Kohle und 6 Thl. Salpeter zu 1 Thl. Schwefel.

Verbindungen. Mit Sauerstoff: a) Schwefelige Säure, verdichtbares Gas, bildet sich beim Verbrennen des Schwefels, wirksam beim Schwefeln der Fässer (sauerstoffbindend und abhaltend) und beim Bleichen von Strohhüten, Papier ꝛc. Hiebei bilden sich bloße farblose Verbindungen. — Versuch mit einer Rose, die über Schwefeldämpfen ihre Farbe ganz verliert, in verdünnter Schwefelsäure sie aber wieder erhält.

b) Schwefelsäure (Vitriolöl). Mehr Sauerstoff enthaltend, als vorige. Auflösungsmittel für Silber, Kupfer, Zink ꝛc. und zu vielen chemischen Zwecken dienend. Dargestellt aus Schwefel mit Salpetersäure in Bleikammern.

Mit Wasserstoff. Schwefelwasserstoff. Sehr stinkendes, (faule Eier), schwach brennbares, verdichtbares Gas. Wird begierig vom Wasser verschluckt (Schwefelwasser). Für Lungen-, Luftröhren- und Hautkranke. — Wichtig zum Erkennen der Metalle (farbige Niederschläge bildend).

Darstellung des Schwefelwasserstoffs. Aus Schwefeleisen und verdünnter Schwefelsäure, ohne Erhitzen.

6) **Phosphor.** Leicht brennbar, giftig, zu Zündhölzern und Rattengift. In Wasser aufbewahren! — Hauptsächlich in den Knochen

---

*) Die in neuester Zeit mehrfach zur Anwendung gekommene Beleuchtung durch Wasserstoffgas geschieht entweder so: Wasserdämpfe werden über glühende Kohlen geführt, wobei eine Zersetzung des Wassers erfolgt. Der Sauerstoff bildet Kohlensäure und Kohlenoxydgas, die zum Theil wieder zerlegt werden; Wasserstoff strömt ab und wird von der mitgeführten Kohlensäure durch Kalk gereinigt. Die Wasserstoffflamme wird dann durch Platindrähte, die in der Flamme glühend werden, leuchtend gemacht. — Oder man stellt sogen. carbonisirtes Wasserstoffgas dar, indem man das durch Zersetzung des Wassers mittelst glühender Kohks erhaltene Wasserstoffgas bei geeigneter Temperatur über Steinkohlen leitet. Dabei verbindet sich Kohle mit dem Wasserstoff und das erhaltene Gasgemenge brennt mit Helligkeit.

enthalten, als phosphorsaurer Kalk. Aus diesen dargestellt durch Zerlegen mittelst verdünnter Schwefelsäure; Phosphorsäure gelöst im vorhandenen Wasser. Eindampfen und Vermengen mit Kohlenpulver, sodann Destillation, wobei die Kohle den Sauerstoff entzieht und der Phosphor übergeht. — Zu Zündhölzern: Phosphor mit Salpeter, Braunstein und arabischer Gummi; vorher Schwefeln der Hölzer.

Verbindung mit Sauerstoff: Phosphorsäure, bildet sich beim Verbrennen des Phosphors, weiße Dämpfe, vom Wasser begierig verschluckt.

Verbindung mit Wasserstoff: Phosphorwasserstoff, ein Gas, das sich an der Luft selbst entzündet. Riecht wie faule Fische; nicht athembar. Irrlichter! —

Darstellung des Phosphorwasserstoffs. Aus 1/4 Phosphor, 1 Aetzkali und 6 Wasser bei leichtem Erhitzen.

7) **Chlor.** Grünlichgelbes, verdichtbares Gas, nicht brennbar, giftig, zerstörend; angewendet zum Bleichen und Reinigen der Luft, als Chlorwasser und Chlorkalk*). Wasser und Kalkpulver verschlucken das Gas.

Darstellung des Chlors. Aus 4 Thl. conzentrirter Salzsäure durch 1 Thl. Braunstein bei gelindem Erwärmen.

Verbindung. a) Chlorwasserstoff mit Wasser = Salzsäure. Auflösungsmittel für Zinn, Spießglanz, Zink und Eisen. Dargestellt aus Kochsalz mittelst verdünnter Schwefelsäure, wobei salzsaures Gas ausgeschieden wird und in Wasser strömt.

Königswasser = 2 Thl. Salzsäure + 1 Thl. Salpetersäure Auflösungsmittel für Gold und Platina.

b) Chlorstickstoff. Heftig explodirende Flüssigkeit.

c) Chlornatrium (Kochsalz). (S. Natrium). — Andere Verbindungen, z. B. mit Sauerstoff, sind ohne technische Bedeutung.

8) **Bor.** Dunkelgrünliches Pulver; im Borax enthalten. Borax = borsaures Natron, aus indischen Seen, meistens aber dargestellt aus Borsäure, welche mit Wasserdämpfen aus der Erde strömt und in Wasser geleitet wird (Lagunen). Krystallisiren der Borsäure, Wiederauflösen und Zusatz von kohlensaurem Natron (Soda) (Kohlensäure wird frei). — Borax dient als Schmelzmittel, hält die Luft ab, schützt also vor Oxydation und löst gebildete Metalloxyde.

Die übrigen nichtmetallischen Grundstoffe: Selen, Kiesel, Brom, Jod und Fluor (pulverige, zum Theil flüssige Stoffe) sind ohne technische Bedeutung; blos Jod in der Daguerrotypie. Brom, Jod, Fluor und auch Chlor deßwegen noch bemerkenswerth, da sie mit Metallen eigenthümliche Salze, sogen. Haloidsalze (z. B. Kochsalz) bilden.

---

*) Zum Reinigen der Luft wendet man besser Salpetersäure an, die man in Schalen aufstellt.

B. Metalle.

Gegenwärtig kennt man 47 Arten von Metallen. Kennzeichen: Farbe, Undurchsichtigkeit, Glanz, Klang, gute Leiter der Wärme und Elektricität. Verbinden sich alle mit Sauerstoff, manche nur schwer, viele sehr gerne, namentlich im Feuer und in feuchter Luft. — Edle (Gold, Silber, Platina, Quecksilber) und unedle Metalle. — Rosten, Verbrennen (Verschlacken, Verzundern). — Schutz durch Abhalten der Luft vermittelst Sand, Borax ꝛc. — Reduction der Metalloxyde durch Kohle. — Salpeter als Oxydationsmittel. Vorfinden der Metalle: Gediegen d. i. im metallischen Zustande, und als Erze, d. i. Oxyde mit Erden, oft Schwefel. — Entschwefelung (Röſten) und Reduction. — Schmelzmittel.

Legierungen. Zweck: Wohlfeilheit, Leichte Verarbeitung, Dauerhaftigkeit, Härte, Zähigkeit, Klang. — Trennung der Metallverbindungen durch Scheiden und Abtreiben. Ersteres vermittelst Säuren, z. B. Gold und Silber; Letzteres vermittelst Feuer, z. B. Blei und Kupfer von Silber und Gold, wobei immer das abzutreibende unedle Metall oxydirt wird.

Skale

der spez. Gewichte:			der Schmelzpunkte:	
Platina	„ 22	Strengflüssig	Platina	
Gold	„ 19,3		Stabeisen	„ 1600 °C.
Quecksilber	„ 13,6	Mittelflüssig	Gold	„ 1250 „
Blei	„ 11,35		Gußeißen	„ 1100—1200° C.
Silber	„ 10,5		Kupfer	„ 1100 °C.
Wismuth	„ 9,8		Silber	„ 1000 °C.
Kupfer	„ 9		Aluminium	„ *)
Eisen	„ 7,2 bis 7,8	Leichtflüssig	Zink	„ 360 „
Zink	„ 7 bis 7,8		Blei	„ 334 „
Zinn	„ 7,3		Wismuth	„ 260 „
Aluminium	„ 2,56		Zinn	„ 230 „
Natrium	„ 0,97		Natrium	„ 90 „
Kalium	„ 0,86		Kalium	„ 58 „
			Quecksilber	„ —39 „

1) **Eisen.** Das zäheste und härteste Metall; schweißbar. Gewonnen aus Erzen (Bohnerz, Roth-, Braun-, Thoneisenstein ꝛc.) — Waschen, Pochen, Röſten, Verwittern, Gattiren und Schmelzen mit Holzkohle oder Kohks im Hochofen — giebt Guß- oder Roheisen. — Zuschläge (Schmelzmittel): Kiesel, Kalk ꝛc. Bei höherer Hitze: graues, körniges, strengflüssigeres; bei geringerer bildet sich weißes, blättriges Roheisen. Gußeißen enthält etwas Kiesel und bis 6 % Kohlenstoff, der

*) Rothglühhitze, zwischen Silber und Messing.

es hart und spröde macht. Entkohlung durch das Frischen, — giebt Schmiedeisen. Eisen löslich in verdünnten Säuren.

Verbindungen. a) Eisenrost = Eisenoxydhydrat.

b) Schwefeleisen; natürlich vorkommendes = Schwefelkies, woraus

c) Eisenvitriol, d. i. schwefelsaures Eisenoxydul dargestellt wird, durch Verwittern, Auslaugen und Krystallisiren. — Angewendet zum Schwarzfärben, Tinte 2c.

d) Stahl = Eisen mit höchstens 1½ Proc. Kohlenstoff; darum doppelte Darstellung: aus Gußeisen durch theilweises Abbrennen der Kohle, gibt Roh- oder Schmelzstahl; oder aus Schmiedeisen durch Glühen mit Kohlenpulver in Kästen, gibt Cement- oder Brennstahl. 1—2 % Rhodium macht den Stahl hart.

Gerben (Gleichartigmachen) des Stahls, durch wiederholtes Zerhauen und Schmieden. Vorsicht beim Erhitzen! — Gußstahl erhalten durch Schmelzen des Cementstahls im verschlossenen Raum mit metallfreiem Glas; oder durch Zusammenschmelzen von Roh- und Schmiedeisen (ersteres flüssig) in ziemlich gleichem Verhältniß. — Damascenerstahl = Stahl und Eisen.

Härten. Rasch abkühlen in kaltem oder besser in angesäuertem oder salzhaltigem Wasser; — Wasser mit Schwefelsäure und Salmiak; — Wasser, Kochsalz und Salmiak; — auch Fett, Oel; — kalte, feuchte Luft 2c. Härten gußeiserner Walzen durch überhitzten Dampf.

Anlaufen. Erhitzen (Erweichen) bis zu einer bestimmten Farbe (Oxydhaut), von blaßrothgelb zum völliggelb, gelbbraun, gelb mit roth, purpurroth, dunkelpurpur, dunkelblau bis blaßblau; grau zu weich. Ganz harte Gegenstände, z. B. Meißel zum Bohren und Drehen von Eisenguß nicht anlassen, bloß kirschroth abkühlen.

Verstählung. Glühen von Eisenwaaren mit Kohlenpulver, Hornspähnen, Blutlaugensalz, gußeisernen Feilspänen, Ruß mit Urin 2c. — Bildung einer Stahlhaut.

Darstellung von Stahl aus klein zertheiltem Roheisen mit 20 % Spatheisenstein und 1½ % Braunstein durch Schmelzen im Tiegel. — Bessemers Darstellung von Stahl und Schmiedeisen ohne Brennmaterial, bloß durch Zuführung von Luft und Verbrennung der Kohle; giebt zuerst Stahl und dann Schmiedeisen. — Wolfram-Stahl (2—5 % Wolfram) giebt den härtesten und festesten Stahl, namentlich zu Werkzeugen (Meißel, Fräsen 2c.). Der Damascener- und indische Stahl (Wootz) soll Spuren von Wolfram zeigen.

Nach neuern Untersuchungen macht der richtige Gehalt an Kohlenstoff den Stahl noch nicht aus. Nach den Einen ist ein bestimmter Gehalt an Kiesel nothwendig. Nach den allerneuesten Versuchen soll die Stahlbildung durch einen gewissen Stickstoffgehalt bedingt sein. Darum geschieht die Stahlbildung hauptsächlich durch Blutlaugensalz; da-

rum erst die eigentliche Stahlbildung bei Feilen ꝛc., indem man sie beim Härten mit Mist umwickelt; in den Cementirkästen wirkt der Stickstoff der Atmosphäre.

2) **Blei.** Läßt sich dünn schlagen und walzen, aber nicht ziehen. Widersteht der Schwefel- und Salzsäure; aber löslich in Salpetersäure. Siedet in der Weißglühhitze. Dargestellt aus Bleiglanz und Weißbleierz, wie Eisen im Hochofen. Meistens silberhaltig. — Abtreiben.

Zu Dachdecken, Fenstern, zu chemischen Zwecken, Röhren, Schrot, Lettern, Bleifarben. — Vorsicht bei Wasserleitungen! (Reines Wasser hat größere lösende Kraft.)

Verbindungen. a) Glätte (Bleioxyd), zur Glasur. b) Mennige, überoxydirte Glätte; c) Bleiweiß (kohlensaures Bleioxyd mit Wasser); d) Bleizucker (essigsaures Bleioxydul), Gift — Speisen in bleihaltigen Gefäßen!

3) **Zinn.** Läßt sich auswalzen (Stanniol), aber nicht zu Draht ziehen. Oxydirt sich langsam und widersteht schwachen Säuren; löslich in Salzsäure. Siedet in hoher Hitze. Darstellung aus sogen. Zinnstein (Zinnoxyd) durch Schmelzen mit Kohle. — Reinigen mit Kohlenpulver auf dem Saigerherde. — Zum Verzinnen, zu Geräthschaften, Legierungen. Vorsicht bei Gefäßen, die bleihaltig sind. Höchstens 20 % Blei. Knistern beim Biegen als Kennzeichen!

Verbindungen sind nicht besonders wichtig. Zinnasche (Oxyd), Musivgold (zweifach Schwefelzinn), Zinnsalze.

4) **Zink.** Erwärmt zu Draht ziehbar und läßt sich walzen. Löslich in verdünnter Salz- und Schwefelsäure. Verwandelt sich in hoher Hitze zu Gas. Darstellung aus Schwefelzink (Zinkblende) und kohlensaurem Zinkoxyd (Galmei) durch Rösten und Destilliren mit Kohle. Auch Leitung der Zinkdämpfe durch glühende Kohlen, die sich in einem abgeschlossenen Raume befinden; das Zinkgas geht dann in's Wasser. Umschmelzen in Kesseln. — Zu Dachdecken, Rinnen, Gefäßen, Gußarbeiten, Legierungen, zu galvanischen Batterien.

Verbindungen. Obige; sodann Zinkoxyd (Zinkblumen), beim Verbrennen gebildet; — schwefelsaures Zinkoxyd (Zink- oder weißer Vitriol), erhalten bei Darstellung des Wasserstoffes durch Auflösen des Zinks in verdünnter Schwefelsäure, zu Augenwasser, Lackfirniß, zum Einbalsamiren.

5) **Kupfer.** Sehr dehnbar durch Schlag und Zug. Löslich in Salpeter- und concentrirter Schwefelsäure. Früh bekanntes Metall (Eherne Waffen, Erz!). Darstellung durch den Hochofenproceß aus Erzen, die meist schwefelhaltig sind. Umschmelzen. — Zu Gefäßen, Münzen, galvanischen Apparaten, zu Blech, Draht — zu Lothen (Hart- und Weichloth). — Kupferfarben: Bremer-Blau, Braunschweiger Grün, Schweinfurter ꝛc. Grün. — Vorzüglich auch zu Legierungen:

a) Legierungen mit Zink:

Messing (Rauschgold) . . .	2 Th. K. + 1 Th. Zink.
Schmiedbares Messing	3 „ „ + 2 „ „
Tombak (Goldschaum) . . .	5 „ „ + 1 „ „
Semilor, Prinzmetall, Mannheimer Gold.	
Eine in Farbe u. Glanz dem Golde sehr ähnliche Legierung enthält	9 „ „ + 1 „ „

b) Mit Zinn zu sogen. Bronze:

Glockengut mit	20 bis 25% Zinn;
Kanonen- oder Stückgut mit .	9 bis 10% „
Medaillenbronze mit . . .	5 bis 10% „

c) Mit Zinn und Zink: Statuenbronze mit 10 bis 18% Zink, 2 bis 4% Zinn und wenig Blei; — zu Maschinentheilen: 70—90 Th. K., Zinn- und Zinkgehalt sehr verschieden.

d) Mit Zink und Nickel: Neusilber (Argentan); Mischung nach der Bestimmung verschieden; am meisten silberähnlich = 3 Th. K., 1 Th. Zink und 1 Th. N.

Beim Zusammenschmelzen leicht- und strengflüssiger Metalle bringe man das leichtflüssige Metall zuerst zum Schmelzen und setze dann das andere zu. Dieses löst sich dann gleichsam.

Verbindungen. a) Kupferoxyd (beim Glühen); b) Kohlensaures Kupferoxyd (Kupferrost, sogen. Grünspahn), in feuchter Luft; entsteht auch als Niederschlag einer Kupfervitriollösung durch kohlensaures Natron (Soda), gibt sogen. Mineralgrün. — c) Schwefelsaures Kupferoxyd (blauer oder Kupfervitriol); dargestellt durch Uebergießen von Kupferabfällen mit verdünnter Schwefelsäure, oder durch Auslaugen von geröstetem Kupferkies. Zur Färberei und Galvanoplastik. — d) Essigsaures Kupferoxyd (Giftiger Grünspan), bildet sich bei Berührung von Essigsäure mit Kupfer unter Luftzutritt. Saure Speisen in Kupfergefäßen! Verzinnung!

6) **Silber.** Sehr dehnbar, weicher als Kupfer, härter als Gold, leichter schmelzbar als beide. Oxydirt sich weder an der Luft noch im Feuer, selbst nicht im Sauerstoffgebläse; verflüchtigt sich aber in ganz hoher Hitze. Wird aufgelöst in Salpeter- und siedender Schwefelsäure; gefällt durch Kupfer als metallisches Pulver, durch Kali als Oxyd, durch Chlor (Salzsäure, Kochsalzlösung) als Chlorsilber. (Reagirung des Silbers auf Kochsalz — Chlor — und umgekehrt.) — Findet sich gediegen, meistens aber mit Schwefel und in Bleierzen.

Darstellung: a) Schmelzen im Tiegel mit Bleizusatz.

b) Auf dem Treibherde (bestehend aus poröser Mergelerde mit Bein- und Holzasche) bei starkem Luftzutritt. — Oxydbildung — theilweises Verschlucken durch die Herdmasse — Bleiglätte — Blicksilber. — Feinbrennen auf dem Brenntest.

c) Bei armen Erzen: Pochen, Waschen, Rösten mit Kochsalz

(Chlorsilberbildung), — Mahlen, Rühren mit Wasser, Beschicken mit Eisenstücken (Zerlegung des Chlorsilbers) bei Erwärmung, — Beschickung mit Quecksilber — Amalgamation — Verdünnen mit Wasser; Abfließen des Amalgams, das im überschüssigen Quecksilber fein zertheilt ist; Auspressen des überschüssigen Quecksilbers; Abdestilliren. — Feinbrennen.

Reduction des Chlorsilbers = Darstellung von chem. reinem Silber. — Kochen des ausgewaschenen Chlorsilbers zuerst in Aetzkalilösung (etwa 5 Minuten), dann in Zuckerlösung bei beständigem Umrühren. Der Zucker reducirt, Kohlensäure entweicht. Auswaschen und Schmelzen mit Borax und Salpeter.

Legierungen; mit Kupfer, härter und wohlfeiler, auch besser zum Guß geeignet. Immer etwas leichter, ausgedehnter! Maßstab: die Mark; 1 Mark = 16 Loth; 1 Loth = 18 Grän. — Rauhe, feine Mark; — Schrot, Korn.

Silberwaaren sind gewöhnlich 12—13 löthig; die französischen, belgischen und deutschen Vereinssilbermünzen haben einen Zusatz von 1 zu 9, sind also $9/10 \times 16 = 14 4/10$ löthig. — Deutsche Münzfüße bisher: 1 Mark fein Silber = 14 preuß. Thlr. = 24½ fl. rhein. = 20 fl. Conv.; Scheidmünze = 27 fl. rhein. — Neuer Vereinsfuß: 1 Zollpfund fein Silber = 30 Thlr. = 45 fl. österr. = 52½ fl. rhein. — Alles im Handel vorkommende Silber, alte Kronenthaler etwas gold- und platinahaltig.

Münzarbeit: Legieren, Gießen in Stäbe, Walzen, Ausglühen, Aushauen, Justieren, Weißsieden, Waschen, Trocknen. Prägen.

Probieren (Proben) a) Feuerprobe. — (S. Gold.)

b) Strichprobe. Streichen der Legierung, sowie der sogen. Probirnadeln auf dem Probirstein (Hornstein) und Vergleichung mit einander. (Dazu ein geübtes Auge!)

c) Nasse Probe. Auflösen in Salpetersäure, Fällen durch Kochsalz. Die Menge des verwendeten Kochsalzes giebt den Silbergehalt an.

d) Durch den Gewichtsverlust — nur annähernd. (S. unten XI. A.)

Versilberung. a) Kalte; Aufreiben eines teigartigen Gemenges von 1 Thl. Chlorsilber,
1 „ Kochsalz,
1 „ Schlämmkreide und
3 „ Pottasche; sodann Abspülen u. Ueberziehen mit farblosem Firniß; oder:
1 Thl. zerriebenes salpetersaures Silberoxyd
mit 1 „ Cyankalium mit Wasser zu dickem Brei, mit wollenen Lappen aufreiben; mit Schwamm abwaschen und trocken reiben.

b) Nasse Versilberung; Ansieden einer Auflösung
von 1 Thl. Chlorsilber,
4 „ Kochsalz und 4 Theil gereinigtem Weinstein

in Wasser. — Vorher die Gegenstände in Salpetersäure etwas beizen.

c) Feuerversilberung. Silberamalgam (dünn ausgeschlagenes erhitztes Silber mit Quecksilber übergossen) wird mit in Wasser gelöstem Quickwasser (salpetersaurem Quecksilberoxydul) aufgetragen, zerrieben und dann das Quecksilber abgebrannt. Weißsieden in verdünnter Schwefelsäure. Vorsicht wegen der Quecksilberdämpfe!

d) Galvanische Versilberung (S. Gold). — Silberplattiren. Rauh machen durch Salpetersäure oder Aufkratzen, Erhitzen und Aufreiben von Blattsilber mit dem Polirstahl.

7) **Gold.** Dehnbarstes Metall, namentlich durch Schlag; weicher als Silber, aber strengflüssiger. Für den Guß nicht wohl geeignet, da es sich beim Schmelzen stark ausdehnt, und nachher wieder zusammenzieht. Unveränderlich in der Luft und im stärksten Feuer. Wird von keiner Säure, sondern nur von Chlor angegriffen; darum aufgelöst in Königswasser, d. i. 2 Thl. Salz- und 1 Thl. Salpetersäure. Entsteht Chlorgold, zerlegt und gefällt durch Eisenvitriol als braunes metallisches Pulver. — Wegen der geringen Neigung des Goldes zum Sauerstoff ꝛc. werden Blitzableiter, feine Wagschalen, Senkwagen ꝛc. vergoldet. — Findet sich nur gediegen, fast immer mit Silber, auch mit Blei, Tellur, oft in Kupfer- und Bleierzen und im Schwefelkies eingesprengt, oder auch lose im Flußsand und verwittertem Gestein, als Blättchen, Körner, krystallinisch, selten in größern derben Stücken.

Darstellung. a) Waschen, Schlemmen und Schmelzen im Tiegel.

b) Zusammenschmelzen des unreinen Waschgoldes mit Blei auf dem sogen. Test und Abtreiben.

c) Armer Goldsand wird nach dem Waschen amalgamirt. (S. Silber.) Flußsand wird bei $^1/_{10000}$ noch bearbeitet;

d) ebenso wenn das Gold in Gestein ꝛc. eingesprengt ist; vorher nur mahlen.

e) Goldhaltige Silber- und Kupfererze werden oft zuerst auf jene Metalle verarbeitet und dann das Gold erst ausgeschieden.

Abtreiben der unedlen Metalle im Feuer.

Scheiden des Goldes vom Silber durch Säuren: a) bei vorherrschendem Silber durch Salpetersäure (Scheidwasser) — Scheidung durch die Quart, d. i. 3 Theile Silber auf 1 Theil Gold; oder

b) jetzt meistens durch concentrirte, kochende Schwefelsäure. Ist Kupfer dabei, so wird das schwefelsaure Silber, welches sich gebildet hat, zersetzt und man erhält als Producte der Scheidung: Feingold, Feinsilber und Kupfervitriol.

c) Bei vorherrschendem Gold löst man dieses durch Königswasser.

Kalifornisches Gold, das man schon durch's Schmelzen 22 karätig erhält, wird gewöhnlich nicht abgetrieben oder geschieden, sondern gerade ausgemünzt. Enthält aber Iridium, welches, wegen seiner Strengflüssigkeit, in Körnchen stecken bleibt und sich mit Gold auch nicht legiert.

Waaren hievon haben also fehlerhafte Stellen. Die englische Bank nimmt darum dieses Gold nicht an. — Abscheiden durch Legierung und Schmelzung mit der dreifachen Menge Silber.

Darstellung von chemisch-reinem Gold. Die Auflösung in Königswasser wird eingedampft bis zum Gestehen beim Erkalten. Verdünnen und Digeriren. Gold- und Kupferchlorid bleiben gelöst, Chlorsilber wird ausgeschieden. Verdünnen der Lösung und Zubringen einer frischen Eisenvitriollösung. Gold fällt als braunes Pulver. Digeriren mit Salzsäure, Auswaschen, Trocknen und Schmelzen mit Borax und Salpeter. — Fällen einer Chlorgoldlösung mit Ammoniak gibt Knallgold (ähnlich beim Silber). — Vorsicht!

Legierung; mit Silber und Kupfer. Weiße, rothe, gemischte. — Zweck! — Maß immer 24theilig.

1 Mark = 24 Karat; 1 Karat = 12 Grän.

1 Unze = 24 Deniers; 1 Denier = 24 Grains. (Bijouteriegewicht.)

Deutsche Vereins-, französische, belgische, italienische und holländische Goldmünzen gewöhnlich $21\frac{3}{5}$ karätig, d. i. 1 Thl. Zusatz auf 9 Thl. Gold; Friedrichsd'or $21\frac{1}{2}$ ktg., alte preußische $21\frac{2}{3}$ ktg. — Dukaten $23\frac{1}{2}$ ktg.; ungarische (österr.) $23\frac{3}{4}$ ktg.

Pforzheimer Legierung: 14karätig = 14 G., 6 S. und 4 K., oder 14 G., $6\frac{2}{3}$ S. u. $3\frac{1}{3}$ K.; $13\frac{1}{2}$ ktg. = $13\frac{1}{2}$ G., 7 S. und $3\frac{1}{2}$ K.; auch 6 S. und $4\frac{1}{2}$ K. 2c.

Werth: 1 Unze Silber 3 fl.;	Platina 13 fl.;	Gold circa 48 fl.	
also Verh. 1	: 4—$4\frac{1}{2}$	: 15—16	

Verhältniß des Silber- und Goldwerthes in Frankfurt a. M. von 1844 bis 1856:

Minimum Gold = $15\frac{1}{3}$ fach Silberwerth = 370 fl. per Mark.
Maximum „ = $15\frac{1}{2}$ „ „ = 386 „ „ „

Die Goldgewinnung hat sich im letzten halben Jahrhundert verzehnfacht; doch ist der Preis fast der frühere. — Großer Verbrauch! —

Im Jahr 1858 war 1 Pfd. Gold im Werth = 15,37 Pfd. Silber = 1135 Pfd. Zinn = 1303 Pfd. Kupfer = 5764 Pfd. Zink = 6375 Pfd. Blei = 14874 Pfd. Eisen.

Goldproben. a) Strichprobe. Streichen der Legierung, sowie der Probiernadeln auf dem Probierstein, Benetzen des Strichs mit Salpetersäure. — Nur bei 6 bis 18 karätigem Gold anwendbar. Bei 14—16 karätigem Gold muß bis 2% Salzsäure (auch Kochsalz) zugesetzt werden.

b) Feuerprobe. Zusammenschmelzen der abgewogenen Legierung mit Blei und Silber (auf etwa 1 Quintchen = 3 Den. $13\frac{1}{2}$—14 karätiges Gold 3 Den. Blei und $1\frac{1}{2}$ bis 2 Den. Silber) in einer sogen. Kapelle (aus gebrannter Knochenasche bestehend und gut ausgetrocknet); Abtreiben im Windofen; dabei Verschlucken des Metalloxyds (Kupfer und Blei) durch die Kapelle — Oxydation mit Farbenerscheinungen; dabei eigenthümliche rotirende Bewegung. Auswalzen

des zurückgeblieben edlen Metallkorns und Abscheiden des Silbers in Salpetersäure. (Probe mit Salzsäure, ob die Lösung noch silberhaltig.) Zuletzt Waschen, Ausglühen und Wägung des übriggebliebenen Feingoldes. Bleiben z. B. von obigen 3 Den. oder 72 Grains noch 41 Gr. Feingold übrig, so wäre die Legierung $^{41}/_{72} \times 24 = 13^{2}/_{3}$ karätig.

Stets mehrere Proben! — Der Bleizusatz begünstigt das Abtreiben und Silber das Scheiden. (Menge ziemlich gleichgültig.)

c) Nasse Probe; bei vorherrschendem Silber (Güldisch). Auflösen des Zusatzes und Wiegen des zurückgebliebenen Goldes.

Vergoldung. a) Kalte, trockene oder Aufreiben. Goldauflösung wird durch leinene Lappen aufgesogen, diese dann verbrannt und das erhaltene Pulver (Asche) mit Salzwasser zu einem dicken Brei gemacht. Einreiben mit weichem Holz, Kork. Abspülen und Poliren.

b) Nasse, Ansieden. Zu einer Lösung von 1 Dukaten in 2 Loth Königswasser setzt man eine Lösung von 2 Loth doppeltkohlensaurem Kali und ½ Loth Aetzammoniak. Einkochen und Ersetzen des verdampften Wassers. — Hierin werden die Gegenstände gesotten. — Oefters herausnehmen und bürsten.

c) Feuervergoldung. Bereitung eines Amalgams im Tiegel, 2—3 Minuten glühen; dann in Wasser gießen — Trocknen. — Auftragen des Amalgams mit Quickwasser (s. Silber) auf die vorher schon verquickten Gegenstände. — Abbrennen und wiederholen.

d) Galvanische Verg. Bei einer gewöhnlichen Kupfer-Zinkbatterie (mit stark verdünnter Schwefelsäure) kommt an den Draht, der vom Zink (negativen Pol) ausgeht, der zu vergoldende Gegenstand, an den andern (Kupfer-, positiver Pol) ein Goldblättchen. — Gegenstand und Goldblättchen in eine Goldlösung, einander nahe gegenüber gebracht, dürfen sich aber nicht berühren. Oefters (nach wenigen Minuten) herausnehmen, abspülen und bürsten mit präp. Weinstein. — Darstellung der Vergoldungsflüssigkeit: Gew. Goldlösung wird eingedampft bis zur Trockene, nachher Lösen in Wasser; hiezu Lösung von kohlensaurem Natron (auch Aetzkali) bis die Flüssigkeit neutral oder nur schwach alkalisch ist. Zugießen einer Lösung von Cyankalium — nach und nach, stehen lassen, bis sich's abklärt. — Filtriren.

Bei dem öftern Gebrauch der Flüssigkeit ist ein Zusatz von Cyankalium gut. — Erwärmen auch gut, aber nicht absolut nöthig. — Schwache Vergoldungen erhält man auch, wenn man den Gegenstand nur mit einem Zinkdraht umwickelt und in das sogen. Bad hängt; die Lösung soll dann aber etwas stärker sein.

Sieden, Beizen. Wegschaffen einer im Feuer erzeugten Oxyddecke (Zunders) durch angesäuertes Wasser, verdünnte Schwefel- und Salpetersäure. — (Auch bei puren unedlen Metallen und Compositionen angewendet.)

Färben. Erzeugen eines dünnen Häutchens Feingold auf der Oberfläche. Farbe = 1 Thl. Kochsalz, 1 Thl. Alaun und 2—3 Thl.

Salpeter mit Wasser zu Brei kochen, 1 Thl. Salzsäure (oft auch bis $\frac{1}{2}$ Thl. Schwefelsäure) zugießen. Die Gegenstände, die vorher ausgeglüht und abgesotten wurden, werden nun in die kochende Farbe gehängt. Oefteres Herausnehmen und Abspülen. Vorgang: Alaun (s. Aluminium) scheidet Schwefelsäure ab, diese, sowie die zugegossene zersetzen das Kochsalz und den Salpeter (s. Kalium). Durch Einwirkung des freigewordenen Chlors und der Salpetersäure werden Gold, Silber und Kupfer auf der Oberfläche des Gegenstandes gelöst, das Gold aber schlägt sich größtentheils wieder auf den Gegenstand nieder.

8) **Platina.** Das schwerste und strengflüssigste der verwendeten Metalle; nur im Knallgas- oder Wasserstoffgebläse schmelzbar. (Noch strengflüssiger aber und zum Theil auch schwerer sind die Begleiter des Platina: Iridium, Ruthenium, Osmium und Rhodium. — Deville hat diese und Platina in besonders construirten Oefen und Tiegeln von Kalk geschmolzen). — Platina in der Luft und im Feuer beständig, sehr dehnbar, zäh und schweißbar. Wird von keiner Säure angegriffen und nur von Königswasser gelöst. — Gediegen in Körnern. — Darstellung: Auflösen der Platinakörner in Königswasser; Fällen durch Salmiak. Auswaschen und schwach glühen, giebt sogen. Platinaschwamm. Schmelzen desselben mit künstlichem Gebläse oder Zusammenpressen und Schmieden (Schweißen).

Trennung von unedlen Metallen durchs Abtreiben. Kein Blick! Vom Silber durchs Scheiden.

Anwendung. Zu Schalen, Tiegeln, Retorten, Hebern, Draht, galvanischen Batterien ꝛc. Platinaschwamm zu Wasserstoffzündmaschinen (Verdichtung des Sauerstoffs). — Platina giebt mit Kupfer und Zink Legierungen, die in Farbe und Gewicht mit Goldlegierungen ganz übereinstimmen, geschmeidig und luftbeständig sind und selbst von Salpetersäure nicht angegriffen werden. — Fälschungen! — Das von Deville durch Schmelzen mit Knallgas oder Sauerstoff und Beleuchtungsgas erhaltene Platin ist reiner, weicher, weißer und hat ein spec. Gew. 21,15. Gewöhnlich dargestelltes Platin enthält immer noch Osmium *).

9) **Quecksilber.** Flüssig bis — 39° C., dann fest und schmiedbar. Siedet bei + 360° C. Die farblosen Dämpfe sehr giftig! Edles Metall; aufgelöst in Salpetersäure (Quickwasser). Dargestellt aus natürlichem Zinnober, d. i. Schwefel-Quecksilber durch Destillation mit Kalk (entsteht Schwefelcalcium) oder Eisen (zu Schwefeleisen); — Auffangen der Quecksilberdämpfe in Wasser.

Anwendung: Zu Spiegeln, Amalgamation des Goldes und Silbers

*) Deville stellt die Verschlechterung des Platins durch Iridium in Abrede. Im Gegentheil sollen sich sehr gute Legierungen zu Geräthschaften mit wenig Iridium und Rhodium darstellen lassen. (Siehe ausführliche Darstellung der Metallurgie des Platins in Dinglers polyt. Journal Band 154.)

bei deren Gewinnung, Feuervergoldung &c., zu Barometern, Manometern und Thermometern und zur Darstellung des künstlichen Zinnobers durch Sublimation mit Schwefel.

10) **Wismuth.** Röthlichweißes Metall, das mit Zinn und Blei sehr leichtflüssige Legierungen gibt. Zum Löthen. Verschiedene Mischungen von verschiedenen Schmelzgraden; 2 Thl. W., 1 Thl. Zinn und 1 Thl. Blei schmilzt in siedendem Wasser (Rose'sches Metall).

11) **Nickel.** Fast silberweiß, dehnbar und ziemlich strengflüssig. Zu Neusilber. (S. Kupfer.)

12) **Kobalt.** Sieht aus wie Gußeisen; schwer und strengflüssig. Zu Farben.

13) **Cadmium.** Dem Zink ähnlich; verflüchtigt sich auch.

14—22) **Mangan** (im Braunstein), **Uran**, **Titan**, **Tantal**, **Niobium**, **Wolfram**, **Molybdän**, **Chrom**, **Vanad**, schwere und schwer schmelzbare Metalle, aber ohne technische Bedeutung. Mangan aber sehr politurfähig, mehr als Stahl und hart, so daß es Glas und Stahl ritzt. — Chromverbindungen zu Farben.

23—25 **Arsen** (im weißen Arsenik oder arseniger Säure, Gift!), **Antimon** (Spießglanz, zum Schriftguß) und **Tellur**, schwere, aber leicht schmelzbare und verdampfbare Metalle. — (Arsen und Tellur werden auch zu den Nichtmetallen gerechnet.)

26—30) **Palladium**, **Iridium**, **Ruthenium**, **Rhodium** und **Osmium**, stets Begleiter des Platina, edle Metalle, sehr schwer und strengflüssig.

31—47) **Kalium**, **Natrium**, **Lithium**, **Baryum**, **Strontium**, **Calcium**, **Magnesium**, **Aluminium**, **Beryllium** (Glycium), **Yttrium**, **Zirkonium**, **Terbium**, **Erbium**, **Thorium**, **Lanthan**, **Didym**, **Cerium** — sogen. Leicht- und Erdmetalle, welche zum Theil, wie Kalium und Natrium, sogar auf dem Wasser schwimmen. Sind sehr leicht oxydirbar, verbrennen theilweise selbst im Wasser und bilden meist Salzbasen. Namentlich sind die sogen. Alkali-Metalle Kalium und Natrium als Salzbildner besonders bemerkbar.

Kalium bildet nämlich: Kohlensaures Kali (Pottasche, Weinsteinsalz), salpetersaures Kali (Salpeter), schwefelsaures Kali, chlorsaures Kali (zur Sauerstoffdarstellung), kieselsaures Kali (im Wasserglas); — Chlorkalium, Jodkalium (sogen. Haloidsalze).

Kali und Natron = Oxyde des Kaliums und Natriums. — Kaliumoxydhydrat = Aetzkali, kaustisches Kali. — Laugen.

Natrium bildet: Kohlensaures Natron (Soda), salpetersaures Natron (Chilisalpeter), schwefelsaures Natron (Glaubersalz), borsaures Natron (Borax), kieselsaures Natron, phosphorsaures Natron; — Chlornatrium (Kochsalz).

Zu der Klasse der Leicht- und Alkalimetalle rechnet man oft auch, wegen ihres ganz entsprechenden Verhaltens, eine aus Stickstoff und Wasserstoff bestehende, das Ammoniak bildende Verbindung, die man

Ammonium nennt. Dieser Körper bildet ganz ähnliche Verbindungen wie Kalium und Natrium.

Chlor-Ammonium (Salmiak) dargestellt durch Zersetzen des Ammoniaks (erhalten aus Menschenharn 2c. durch Destillation) durch Salzsäure; — auch Filtriren des Ammoniaks durch Gyps und Destillation mit Kochsalz. — Sublimat von Kameelmist.

Schwefelsaure Kali-Thonerde (Alaun) erhalten aus Alaunstein, Alaunschiefer 2c. — Kalium ist hiebei oft auch durch ein anderes Element (Natrium 2c.) vertreten.

Darstellung der Salze: Auslaugen geeigneter Materien (Pottasche aus Holzasche, Soda aus gewissen Seepflanzen 2c., Salpeter aus der Stallerde 2c.), — Abschäumen, Reinigen, Crystallisiren. — Kochsalz aus Salzsoole, Meerwasser, — Graduiren. — Steinsalz.

Mehrere der obigen Metalle bilden die Grundlagen der Erden. Calcium in der Kalkerde (kohlensaurer Kalk = gem. Kalk; schwefelsaurer Kalk = Gyps); Aluminium in der Thonerde, Alaun 2c. —

Neueste Darstellung und Verwendung des Aluminiums. Zunächst Darstellung von Chloraluminium durch Einwirkung von Chlorgas auf ein glühendes Gemenge von Thonerde und Kohle, wobei Chloraluminium überdestillirt zu einer crystallinischen Masse. Sodann Abscheidung des Aluminiums durch Natrium (erhalten durch Destillation von kohlensaurem Natron, Kohle und Kreide) vermittelst Glühen, wobei Chlornatrium und Aluminium (in Kügelchen) ausgeschieden werden. Eigenschaften: Die Farbe des Aluminiums liegt zwischen der des Zinns und Zinks. Es ist außerordentlich leicht; specifisches Gewicht = 2,56, also etwa 4 mal leichter als Silber; es ist sehr hart, klingend, läßt sich hämmern, ziehen und walzen; ist an der Luft unveränderlich und oxydirt auch im Feuer nur sehr wenig, wird auch nicht von Salpeter- und Schwefelsäure, wohl aber von Salzsäure, und den Kalilaugen angegriffen. — Sein Schmelzpunkt liegt zwischen dem des Zinks und des Messings (Rothglühhitze, schmilzt etwas eher als Silber). — Die Gestehungskosten sind jetzt = 100 Franken per 1 Kilogr. — Aluminium in geringem Verhältniß mit andern Metallen z. B. Kupfer, Zink, Zinn, Silber und Gold gibt Legierungen von ganz besondern Eigenschaften. — Kupfer mit $1/20$ Aluminium gibt eine in allen Beziehungen dem Golde ähnliche Legierung. — 99 Thl. Gold + 1 Thl. Aluminium sieht aus wie sogen. grünes Gold. — Aluminiumbronze (90 Kupfer + 10 Al.) zu Flintenläufen und Geschützröhren vorzüglich geeignet.

Glas. Erhalten durch Zusammenschmelzen von Kieselerde (Sand, Quarz) mit Kali (Asche, Pottasche), Natron (Soda), Kalk, Bittererde und Thonerde; oft, der Färbung wegen, noch mit besondern Metalloxyden.

Wasserglas = kieselsaures Kali oder Natron; dargestellt durch Schmelzen von Sand mit Pottasche oder Soda und Kohle. Dient um

Holz, Mauern und darauf angebrachte Farben ꝛc. gegen Einfluß der Atmosphäre zu schützen. Macht Gegenstände auch unverbrennlich. — Verglast die Körper. — Löslich in Wasser.

III. Von der Bewegung der Körper.

1) Gerad- und krummlinige Bewegung. — Gleichförmige, beschleunigte und verzögerte Bewegung. — Diese kann wieder gleichförmig oder ungleichförmig sein. —

Beispiele. Eine Uhr, die Erde, eine Maschine in ihrem sogen. Beharrungszustande sind in gleichförmiger Bewegung. — Ein fallender Körper zeigt eine beschleunigte, ein aufwärts geworfener eine verzögerte Bewegung.

Die Ursache einer jeden Bewegung ist nach I. 8. immer eine Kraft.

2) Eine Kraft erzeugt immer eine geradlinige Bewegung; zum Hervorbringen einer krummlinigen Bewegung ist darum die Wirksamkeit mehrerer Kräfte nöthig, die nach verschiedenen Richtungen wirken.

3) Gleichförmige Bewegung entsteht, wenn ein in Bewegung gesetzter Körper sich selbst überlassen wird und keine Hindernisse entgegen wirken (z. B. die Himmelskörper), oder wenn eine fortwährend wirkende Kraft gerade im Stande ist, die vorhandenen Bewegungswiderstände zu überwältigen (z. B. der Gang einer Maschine, Wagens ꝛc.)

Beschleunigte Bewegung entsteht, wenn eine Kraft fortwährend auf einen Körper einwirkt und dabei der Widerstand = 0 oder kleiner, als die Kraft ist.

Die verzögerte Bewegung aber ist eine Folge fortdauernd zu überwindender Hindernisse und eines Mangels an Kraft.

4) Weg nennt man die von einem Körper durchlaufene Bahn. Die Größe des Weges in der Zeiteinheit (Sekunde) wird Geschwindigkeit genannt.

Oft ist die Schnelligkeit einer Bewegung auch per Stunde angegeben, z. B. bei Eisenbahnzügen ꝛc. Bei sich drehenden Körpern nennt man die Zahl der Umdrehungen bei Pumpen, Dampfmaschinen ꝛc. die Zahl der Hübe per Minute.

5) Legt ein Körper bei gleichförmiger Bewegung in der Sekunde 10′ zurück, so ist natürlich sein Weg in 20 Sekunden = 20 . 10′, und in einer Minute = 60 . 10′.

Allgemein setzt man den Weg = s, die Zeit in Sekunden = t und die Geschwindigkeit = v; darum ist

der Weg $s = t \,.\, v$, (I)

folglich die Geschwindigkeit $v = \frac{s}{t}$ (II),

und die Zeit $t = \frac{s}{v}$ (III).

Macht ein Wasserrad ꝛc. n Umdrehungen per Minute und ist

dessen Durchmesser $= d$, so ist der in einer Minute von einem Punkt am Umfang zurückgelegte Weg $= d \,.\, \pi \,.\, u$, und folglich die Geschwindigkeit per Sekunde $v = \frac{d \,.\, \pi \,.\, u}{60}$.

Aufgaben.

1stes Beispiel. Welchen Weg legt ein Wagenzug auf der Eisenbahn in einer Stunde zurück, wenn er sich mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 12 Meter gleichförmig fortbewegt?

Auflösung. Es ist (Gleichung I) $s = v \,.\, t$;

d. i. $s = 12 \,.\, 60 \,.\, 60 = 43200$ Meter;

oder $s = \frac{43200}{7420} = 5{,}82$ deutsche Meilen, jede zu 7420 Meter angenommen*).

2tes Beispiel. Wenn ein Pferd in 1 Stunde 2 Minuten und 10 Sekunden = 3730 Sekunden einen Weg von drei deutschen Meilen, zu 24000 Fuß angenommen, zurückgelegt hat, wie groß war seine mittlere Geschwindigkeit?

Auflösung. Es ist $v = \frac{s}{t} = \frac{3 \,.\, 24000}{3730} = 19{,}3$ Fuß.

3tes Beispiel. Welche Zeit braucht ein Fußgänger, um eine deutsche Meile zu durchlaufen, wenn seine Geschwindigkeit zu 1,6 Meter angenommen wird?

Auflösung. Nach Gleichung III ist $t = \frac{s}{v} = \frac{7420}{1{,}6}$;

d. i. $t = 4637$ Sekunden = 1 Stunde 17 Min. $17\frac{1}{2}$ Sek.

4tes Beispiel. Wie groß ist die (mittlere) Geschwindigkeit des Kolbens einer Dampfmaschine, wenn derselbe per Minute 20 Doppelhübe (= 20 Umdrehungen der Kurbel- oder Schwungradwelle) von 1,9 Meter Höhe macht?

Auflösung. Weg des Kolbens bei einem einfachen Hub = 1,9 Meter,

also „ „ „ „ „ Doppelhub = 2 . 1,9 „

folglich Weg in der Minute = 20 . 2 . 1,9 Meter,

und somit per Sekunde $v = \frac{20 \,.\, 2 \,.\, 1{,}9}{60} = 1{,}266$ Meter.

6) Eine beständig wirkende Kraft, die einen Körper in beschleunigte Bewegung setzt, ertheilt demselben in jedem Zeittheilchen einen Geschwindigkeitszuwachs. Nennt man die in der ersten Sekunde erreichte Geschwindigkeit $\mathfrak{g}$, so ist die Geschwindigkeit nach 2 Sekunden $= 2\mathfrak{g}$, in 3 Sekunden $= 3\mathfrak{g}$ rc., also allgemein in t Sekunden

$$v = t \,.\, \mathfrak{g};$$

und wenn der Körper schon eine Anfangsgeschwindigkeit c hatte,

$$v = c + t\,\mathfrak{g}.$$

Man nennt die Geschwindigkeitszunahme $\mathfrak{g}$ per Sekunde die **Beschleunigung.**

---

*) Eine preuß. Meile = 24000′ = 7533 Meter,
„ österr. „ = 24000′ = 7586 „
„ engl. „ = 5280′ = 1609 „
„ bad. Wegstunde = 14815′ = 4444 Meter = ⅗ geogr. od. deutsche Meile.

7) Der Weg, den ein Körper bei beschleunigter Bewegung zurücklegt, wird erhalten, indem man denkt, der Körper bewege sich mit dem Mittel seiner Anfangs- und Endgeschwindigkeit gleichförmig vorwärts.

Für den Fall, daß der Körper in Ruhe war, als die beschleunigende Kraft auf ihn einzuwirken begann, ist darum der in t Sekunden zurückgelegte Weg $s = \frac{v}{2} . t.$ (I)

Hieraus folgt, da $\mathfrak{g}$ die Geschwindigkeit nach 1 Sekunde ist, daß der in der ersten Sekunde zurückgelegte Weg $= \frac{\mathfrak{g}}{2}$ ist.

Da nun aber der Körper in 2 Sekunden, also in der doppelten Zeit auch die doppelte Geschwindigkeit erreicht, so ist also der Weg in 2 Sekunden das Vierfache $= 2 . 2 . \frac{\mathfrak{g}}{2}$; in 3 Sekunden $= 3 . 3 \frac{\mathfrak{g}}{2}$ rc.; also in t Sekunden

$$s = t . t . \frac{\mathfrak{g}}{2} = t^2 . \frac{\mathfrak{g}}{2} \text{ (II).}$$

Der bei beschleunigter Bewegung durchlaufene Weg wächst also wie die Quadrate der Zeiten.

Aus $v = t . \mathfrak{g}$ ergiebt sich $t = \frac{v}{\mathfrak{g}}$.

Setzt man in Gleichung I $\frac{v}{\mathfrak{g}}$ statt t, so findet man

$$s = \frac{v}{2} . \frac{v}{\mathfrak{g}} \text{ d. i. } s = \frac{v^2}{2\,\mathfrak{g}} \text{ (III)}$$

und hieraus $v^2 = 2 . \mathfrak{g} . s$ und $v = \sqrt{2 . \mathfrak{g} . s}$ (IV).

8) Bei einer vorhandenen Anfangsgeschwindigkeit c wäre

$$s = \frac{c + v}{2} . t \text{ (V);}$$

$$\text{oder auch } s = c . t + t^2 . \frac{\mathfrak{g}}{2} \text{ (VI),}$$

$$\text{oder } s = \frac{v^2 - c^2}{2\,\mathfrak{g}} \text{ (VII).}$$

9) **Fall der Körper.** Das einfachste Beispiel einer beschleunigten Bewegung sehen wir beim Fallen der Körper. Ein freifallender Körper legt in der ersten Sekunde einen Weg von 4,9 Meter = 15⅝ rhein. = 16,35 bad. = 17,1 württemb. Fuß zurück.

Es ist also die Fallbeschleunigung, die allgemein mit g bezeichnet wird,

$g = 9{,}8$ Meter $= 31{,}25$ rhein. $= 32{,}7$ bad. $= 34{,}2$ württ. Fuß*).
Es fällt somit ein Körper

$$\text{in 1 Sek.} = 1 \,.\, \frac{g}{2} = 1 \,.\, \frac{9{,}8}{2} \text{ Meter}$$

$$\text{„ 2 „} = 4 \,.\, \frac{g}{2} = 4 \,.\, \frac{9{,}8}{2} \text{ „}$$

$$\text{„ 3 „} = 9 \,.\, \frac{g}{2} = 9 \,.\, \frac{9{,}8}{2} \text{ „}$$

10) Bei einer verzögerten Bewegung ist, wenn c die Anfangsgeschwindigkeit und $\mathfrak{g}$ die Abnahme per Sekunde d. i. die Verzögerung bezeichnet, nach t Sekunden

die Geschwindigkeit $v = c - t \,.\, \mathfrak{g}$,

und es müßte für den Fall, daß der Körper zur Ruhe gelangt, $c = t \,.\, \mathfrak{g}$ (I) sein.

Der in derselben Zeit zurückgelegte Weg ist wieder wie in Satz 7

$$s = \frac{c}{2} \,.\, t \quad \text{(II)},$$

$$\text{oder } s = t^2 \,.\, \frac{\mathfrak{g}}{2} \quad \text{(III)},$$

$$\text{und } s = \frac{c^2}{2\mathfrak{g}} \quad \text{(IV)},$$

$$\text{und } c = \sqrt{2 \,.\, \mathfrak{g} \,.\, s} \quad \text{(V)}.$$

Geht der Körper aus einer Anfangsgeschwindigkeit c in eine geringere Geschwindigkeit v über, so ist

$$v = c - t \,.\, \mathfrak{g} \quad \text{(VI)},$$

$$\text{und } s = \frac{c + v}{2} \,.\, t \quad \text{(VII)},$$

$$s = t \,.\, c - t^2 \,.\, \frac{\mathfrak{g}}{2} \quad \text{(VIII)},$$

$$s = \frac{c^2 - v^2}{2\mathfrak{g}} \quad \text{(IX)}.$$

Beispiel. Das Steigen eines Körpers. Dabei ganz die gleiche Verzögerung wie beim Fallen eine Beschleunigung; — also ist nach 5 Sekunden die Geschwindigkeit $v = c - 5 \,.\, 9{,}81$ Meter. — Auch braucht demnach ein Körper zum Steigen und Fallen die nämliche Zeit.

Aufgaben über beschleunigte und verzögerte Bewegung.

1ste Aufgabe. Wie groß ist der Weg, den ein Körper in $6\frac{1}{2}$ Sekunden frei durchfällt, und welche Geschwindigkeit hat der Körper am Ende der Fallzeit erlangt?

Auflösung. Nach Satz 7 und 9 (II) ist $s = \frac{g}{2} t^2$:

folglich $s = 4{,}905 \,.\, 6{,}5^2 = 207{,}236$ Meter.
Nach gleichem Satz ist die Endgeschwindigkeit $v = gt$;
folglich $v = 9{,}81 \,.\, 6{,}5 = 63{,}765$ Meter.

*) Werthe für g in anderen Landesmaßen s. Tabelle am Ende des Werkchens.

2te Aufgabe. Welche Endgeschwindigkeit erreicht ein Körper, der 100 Meter hoch gefallen ist, und wie groß ist die hiezu erforderliche Zeit?

Auflösung. Es ist $v = \sqrt{2gs}$; daher $v = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 100}$;
also $v = \sqrt{1962} = 44{,}3$ Meter.

Als nöthige Fallzeit erhält man nach der Formel II des Satz 7

$$100 = \frac{9{,}81}{2} \,.\, t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{200}{9{,}81}} = 4^1/_2 \text{ Sek.};$$

oder nach der Formel $v = g \,.\, t$ des Satz 6

$$t = \frac{44{,}3}{9{,}81} = 4^1/_2 \text{ Sek.}$$

3te Aufgabe. Ein Körper habe während 12 Sekunden durch gleichförmig beschleunigte Bewegung eine Geschwindigkeit von 30 Fuß erreicht; welchen Weg hat derselbe während dieser Zeit zurückgelegt?

Auflösung. Nach Satz 7 ist $s = \frac{v \,.\, t}{2}$ d. i.

$$s = \frac{30 \,.\, 12}{2} = 180 \text{ Fuß.}$$

4te Aufgabe. Wenn eine Kugel innerhalb $2^1/_2$ Minuten mit beschleunigter Bewegung eine schiefe Bahn, z. B. einen Berg, von 4000 Fuß Länge herabrollt, wie groß ist die mittlere Beschleunigung?

Auflösung. Aus der Gleichung $s = \frac{\mathfrak{g}t^2}{2}$ erhält man für die Beschleunigung

$$\mathfrak{g} = \frac{2s}{t^2};$$

$$\text{folglich } \mathfrak{g} = \frac{2 \,.\, 4000}{150^2} = 0{,}355 \text{ Fuß.}$$

5te Aufgabe. Welche Beschleunigung erleidet eine Kanonenkugel in einem 2 Meter langen Lauf, wenn die Kugel, wenn sie den Lauf verläßt, eine Geschwindigkeit von 700 Meter hat, und wie lange bleibt die Kugel im Lauf?

Auflösung. Aus der Formel des S. 7 $s = \frac{v^2}{2 \,.\, \mathfrak{g}}$ ergibt sich die Beschleunigung

$$\mathfrak{g} = \frac{v^2}{2 \,.\, s}.$$

Da hier $s = 2$ Meter ist, so ist also die Beschleunigung der Kugel

$$\mathfrak{g} = \frac{700^2}{2 \,.\, 2} = 122500 \text{ Meter.}$$

Als Zeit, in welcher jene (mittlere oder durchschnittliche) Beschleunigung eintritt, findet man aus $v = \mathfrak{g} \,.\, t$

$$t = \frac{v}{\mathfrak{g}} = \frac{700}{122500} = 0{,}00571 \text{ Sek.}$$

6te Aufgabe. Eine von einer schiefen Ebene herabrollende Kugel hat am Anfange der Bewegung schon eine Geschwindigkeit von 30 Fuß und erlangt beim Herabrollen in jeder Sekunde noch 6 Fuß Zuwachs an Geschwindigkeit; man soll die Geschwindigkeit bestimmen, welche die Kugel nach $3^1/_4$ Sekunden hat.

Auflösung. Nach S. 8 ist $v = c + \mathfrak{g}t$; also

$$v = 30 + 6 \,.\, 3{,}25 = 49{,}5 \text{ Fuß.}$$

dessen Durchmesser $= d$, so ist der in einer Minute von einem Punkt am Umfang zurückgelegte Weg $= d \, . \, \pi \, . \, u$, und folglich die Geschwindigkeit per Sekunde $v = \frac{d \, . \, \pi \, . \, u}{60}$.

Aufgaben.

1stes Beispiel. Welchen Weg legt ein Wagenzug auf der Eisenbahn in einer Stunde zurück, wenn er sich mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 12 Meter gleichförmig fortbewegt?

Auflösung. Es ist (Gleichung I) $s = v \, . \, t$;

d. i. $s = 12 \, . \, 60 \, . \, 60 = 43200$ Meter;

oder $s = \frac{43200}{7420} = 5{,}82$ deutsche Meilen, jede zu 7420 Meter angenommen*).

2tes Beispiel. Wenn ein Pferd in 1 Stunde 2 Minuten und 10 Sekunden = 3730 Sekunden einen Weg von drei deutschen Meilen, zu 24000 Fuß angenommen, zurückgelegt hat, wie groß war seine mittlere Geschwindigkeit?

Auflösung. Es ist $v = \frac{s}{t} = \frac{3 \, . \, 24000}{3730} = 19{,}3$ Fuß.

3tes Beispiel. Welche Zeit braucht ein Fußgänger, um eine deutsche Meile zu durchlaufen, wenn seine Geschwindigkeit zu 1,6 Meter angenommen wird?

Auflösung. Nach Gleichung III ist $t = \frac{s}{v} = \frac{7420}{1{,}6}$;

d. i. $t = 4637$ Sekunden = 1 Stunde 17 Min. 17½ Sek.

4tes Beispiel. Wie groß ist die (mittlere) Geschwindigkeit des Kolbens einer Dampfmaschine, wenn derselbe per Minute 20 Doppelhübe (= 20 Umdrehungen der Kurbel- oder Schwungradwelle) von 1,9 Meter Höhe macht?

Auflösung. Weg des Kolbens bei einem einfachen Hub = 1,9 Meter,

also „ „ „ „ „ Doppelhub = 2 . 1,9 „

folglich Weg in der Minute = 20 . 2 . 1,9 Meter,

und somit per Sekunde $v = \frac{20 \, . \, 2 \, . \, 1{,}9}{60} = 1{,}266$ Meter.

6) Eine beständig wirkende Kraft, die einen Körper in beschleunigte Bewegung setzt, ertheilt demselben in jedem Zeittheilchen einen Geschwindigkeitszuwachs. Nennt man die in der ersten Sekunde erreichte Geschwindigkeit $\mathfrak{g}$, so ist die Geschwindigkeit nach 2 Sekunden $= 2\mathfrak{g}$, in 3 Sekunden $= 3\mathfrak{g}$ 2c., also allgemein in t Sekunden

$$v = t \, . \, \mathfrak{g};$$

und wenn der Körper schon eine Anfangsgeschwindigkeit c hatte,

$$v = c + t \, \mathfrak{g}.$$

Man nennt die Geschwindigkeitszunahme $\mathfrak{g}$ per Sekunde die Beschleunigung.

---

*) Eine preuß. Meile = 24000′ = 7533 Meter,
„ österr. „ = 24000′ = 7586 „
„ engl. „ = 5280′ = 1609 „
„ bad. Wegstunde = 14815′ = 4444 Meter = ⅗ geogr. od. deutsche Meile.

7) Der Weg, den ein Körper bei beschleunigter Bewegung zurücklegt, wird erhalten, indem man denkt, der Körper bewege sich mit dem Mittel seiner Anfangs- und Endgeschwindigkeit gleichförmig vorwärts.

Für den Fall, daß der Körper in Ruhe war, als die beschleunigende Kraft auf ihn einzuwirken begann, ist darum der in t Sekunden zurückgelegte Weg $s = \frac{v}{2} \cdot t.$ (I)

Hieraus folgt, da $\mathfrak{g}$ die Geschwindigkeit nach 1 Sekunde ist, daß der in der ersten Sekunde zurückgelegte Weg $= \frac{\mathfrak{g}}{2}$ ist.

Da nun aber der Körper in 2 Sekunden, also in der doppelten Zeit auch die doppelte Geschwindigkeit erreicht, so ist also der Weg in 2 Sekunden das Vierfache $= 2 \cdot 2 \cdot \frac{\mathfrak{g}}{2}$; in 3 Sekunden $= 3 \cdot 3 \frac{\mathfrak{g}}{2}$ rc.; also in t Sekunden

$$s = t \cdot t \cdot \frac{\mathfrak{g}}{2} = t^2 \cdot \frac{\mathfrak{g}}{2} \text{ (II).}$$

Der bei beschleunigter Bewegung durchlaufene Weg wächst also wie die Quadrate der Zeiten.

Aus $v = t \cdot \mathfrak{g}$ ergiebt sich $t = \frac{v}{\mathfrak{g}}$.

Setzt man in Gleichung I $\frac{v}{\mathfrak{g}}$ statt t, so findet man

$$s = \frac{v}{2} \cdot \frac{v}{\mathfrak{g}} \text{ d. i. } s = \frac{v^2}{2\,\mathfrak{g}} \text{ (III)}$$

und hieraus $v^2 = 2 \cdot \mathfrak{g} \cdot s$ und $v = \sqrt{2 \cdot \mathfrak{g} \cdot s}$ (IV).

8) Bei einer vorhandenen Anfangsgeschwindigkeit c wäre

$$s = \frac{c + v}{2} \cdot t \text{ (V);}$$

$$\text{oder auch } s = c \cdot t + t^2 \cdot \frac{\mathfrak{g}}{2} \text{ (VI),}$$

$$\text{oder } s = \frac{v^2 - c^2}{2\,\mathfrak{g}} \text{ (VII).}$$

9) Fall der Körper. Das einfachste Beispiel einer beschleunigten Bewegung sehen wir beim Fallen der Körper. Ein freifallender Körper legt in der ersten Sekunde einen Weg von 4,9 Meter = $15^5/_8$ rhein. = 16,35 bad. = 17,1 württemb. Fuß zurück.

Es ist also die Fallbeschleunigung, die allgemein mit g bezeichnet wird,

g = 9,8 Meter = 31,25 rhein. = 32,7 bad. = 34,2 württ. Fuß*).

Es fällt somit ein Körper

$$\text{in 1 Sek.} = 1 \cdot \frac{g}{2} = 1 \cdot \frac{9{,}8}{2} \text{ Meter}$$

$$\text{„ 2 „} = 4 \cdot \frac{g}{2} = 4 \cdot \frac{9{,}8}{2} \text{ „}$$

$$\text{„ 3 „} = 9 \cdot \frac{g}{2} = 9 \cdot \frac{9{,}8}{2} \text{ „}$$

10) Bei einer verzögerten Bewegung ist, wenn c die Anfangsgeschwindigkeit und $\mathfrak{g}$ die Abnahme per Sekunde d. i. die Verzögerung bezeichnet, nach t Sekunden

die Geschwindigkeit $v = c - t \cdot \mathfrak{g}$,

und es müßte für den Fall, daß der Körper zur Ruhe gelangt, $c = t \cdot \mathfrak{g}$ (I) sein.

Der in derselben Zeit zurückgelegte Weg ist wieder wie in Satz 7

$$s = \frac{c}{2} \cdot t \quad \text{(II)},$$

$$\text{oder } s = t^2 \cdot \frac{\mathfrak{g}}{2} \quad \text{(III)},$$

$$\text{und } s = \frac{c^2}{2\mathfrak{g}} \quad \text{(IV)},$$

$$\text{und } c = \sqrt{2 \cdot \mathfrak{g} \cdot s} \quad \text{(V)}.$$

Geht der Körper aus einer Anfangsgeschwindigkeit c in eine geringere Geschwindigkeit v über, so ist

$$v = c - t \cdot \mathfrak{g} \quad \text{(VI)},$$

$$\text{und } s = \frac{c + v}{2} \cdot t \quad \text{(VII)},$$

$$s = t \cdot c - t^2 \cdot \frac{\mathfrak{g}}{2} \quad \text{(VIII)},$$

$$s = \frac{c^2 - v^2}{2\mathfrak{g}} \quad \text{(IX)}.$$

Beispiel. Das Steigen eines Körpers. Dabei ganz die gleiche Verzögerung wie beim Fallen eine Beschleunigung; — also ist nach 5 Sekunden die Geschwindigkeit $v = c - 5 \cdot 9{,}81$ Meter. — Auch braucht demnach ein Körper zum Steigen und Fallen die nämliche Zeit.

Aufgaben über beschleunigte und verzögerte Bewegung.

1ste Aufgabe. Wie groß ist der Weg, den ein Körper in $6^1/_2$ Sekunden frei durchfällt, und welche Geschwindigkeit hat der Körper am Ende der Fallzeit erlangt?

Auflösung. Nach Satz 7 und 9 (II) ist $s = \frac{g}{2} t^2$:

folglich $s = 4{,}905 \cdot 6{,}5^2 = 207{,}236$ Meter.

Nach gleichem Satz ist die Endgeschwindigkeit $v = gt$;

folglich $v = 9{,}81 \cdot 6{,}5 = 63{,}765$ Meter.

*) Werthe für g in anderen Landesmaßen s. Tabelle am Ende des Werkchens.

2te Aufgabe. Welche Endgeschwindigkeit erreicht ein Körper, der 100 Meter hoch gefallen ist, und wie groß ist die hiezu erforderliche Zeit?

Auflösung. Es ist $v = \sqrt{2gs}$; daher $v = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 100}$;
also $v = \sqrt{1962} = 44{,}3$ Meter.

Als nöthige Fallzeit erhält man nach der Formel II des Satz 7

$$100 = \frac{9{,}81}{2} \,.\, t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{200}{9{,}81}} = 4^1/_2 \text{ Sek.};$$

oder nach der Formel $v = g \,.\, t$ des Satz 6

$$t = \frac{44{,}3}{9{,}81} = 4^1/_2 \text{ Sek.}$$

3te Aufgabe. Ein Körper habe während 12 Sekunden durch gleichförmig beschleunigte Bewegung eine Geschwindigkeit von 30 Fuß erreicht; welchen Weg hat derselbe während dieser Zeit zurückgelegt?

Auflösung. Nach Satz 7 ist $s = \frac{v \,.\, t}{2}$ d. i.

$$s = \frac{30 \,.\, 12}{2} = 180 \text{ Fuß.}$$

4te Aufgabe. Wenn eine Kugel innerhalb $2^1/_2$ Minuten mit beschleunigter Bewegung eine schiefe Bahn, z. B. einen Berg, von 4000 Fuß Länge herabrollt, wie groß ist die mittlere Beschleunigung?

Auflösung. Aus der Gleichung $s = \frac{gt^2}{2}$ erhält man für die Beschleunigung

$$g = \frac{2s}{t^2};$$

$$\text{folglich } g = \frac{2 \,.\, 4000}{150^2} = 0{,}355 \text{ Fuß.}$$

5te Aufgabe. Welche Beschleunigung erleidet eine Kanonenkugel in einem 2 Meter langen Lauf, wenn die Kugel, wenn sie den Lauf verläßt, eine Geschwindigkeit von 700 Meter hat, und wie lange bleibt die Kugel im Lauf?

Auflösung. Aus der Formel des S. 7 $s = \frac{v^2}{2 \,.\, g}$ ergibt sich die Beschleunigung

$$g = \frac{v^2}{2 \,.\, s}.$$

Da hier $s = 2$ Meter ist, so ist also die Beschleunigung der Kugel

$$g = \frac{700^2}{2 \,.\, 2} = 122500 \text{ Meter.}$$

Als Zeit, in welcher jene (mittlere oder durchschnittliche) Beschleunigung eintritt, findet man aus $v = g \,.\, t$

$$t = \frac{v}{g} = \frac{700}{122500} = 0{,}00571 \text{ Sek.}$$

6te Aufgabe. Eine von einer schiefen Ebene herabrollende Kugel hat am Anfange der Bewegung schon eine Geschwindigkeit von 30 Fuß und erlangt beim Herabrollen in jeder Sekunde noch 6 Fuß Zuwachs an Geschwindigkeit; man soll die Geschwindigkeit bestimmen, welche die Kugel nach $3^1/_4$ Sekunden hat.

Auflösung. Nach S. 8 ist $v = c + gt$; also

$$v = 30 + 6 \,.\, 3{,}25 = 49{,}5 \text{ Fuß.}$$

7te Aufgabe. Ein Wagen sei in einer Zeit von 5 Minuten durch gleichförmige Beschleunigung von einer Geschwindigkeit $c = 3$ Fuß in eine solche $v = 8{,}5$ Fuß versetzt worden; man soll den in dieser Zeit zurückgelegten Weg berechnen.

Auflösung. Es ist nach S. 8 (I) $s = \frac{c + v}{2} \cdot t$;

$$\text{folglich } s = \frac{3 + 8{,}5}{2} \cdot 5 \cdot 60 = 1725 \text{ Fuß.}$$

8te Aufgabe. Ein mit 10 Meter Geschwindigkeit fortgehender Dampfwagen wird so gebremst, daß er in jeder Sekunde $1/2$ Meter an Geschwindigkeit verliert; wie groß ist seine Geschwindigkeit nach 4 Sekunden, und wann gelangt der Wagen zur Ruhe?

Auflösung. Nach der Formel des S. 10, $v = c - gt$, erhält man als Geschwindigkeit nach 4 Sekunden $v = 10 - 0{,}5 \cdot 4 = 8$ Meter.

Damit der Wagen zur Ruhe kommt, muß nach gleichem Satz

$$c = gt,$$

$$\text{also } t = \frac{c}{g} = \frac{10}{0{,}5} = 20 \text{ Sekund. sein.}$$

Wollte man noch den Weg berechnen, den der Körper vom Anfang des Bremsens an bis zum Augenblick der Ruhe zurücklegt, so darf man nur nach S. 10 . . . $s = \frac{c^2}{2g}$ setzen; alsdann erhält man

$$s = \frac{10^2}{2 \cdot 0{,}5} = 100 \text{ Meter.}$$

9te Aufgabe. Wenn ein Wagenzug auf der Eisenbahn eine Geschwindigkeit von 12 Meter hat, und nachdem die Dampfmaschine abgestellt wurde, noch 2000 Meter sich fortbewegt, ehe er zur Ruhe kommt, wie groß ist die Geschwindigkeitsabnahme (Verzögerung) in einer Sekunde?

Auflösung. Nach Gleichung IV des S. 10 $s = \frac{c^2}{2g}$ ist die Verzögerung $g = \frac{c^2}{2s}$; somit hier

$$g = \frac{12^2}{2 \cdot 2000} = 0{,}036 \text{ Meter.}$$

10te Aufgabe Wie hoch stieg ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper, welcher 12 Sekunden ausblieb?

Auflösung. Nach S. 10 ist der Körper 6 Sekunden lang gestiegen und 6 Sekunden lang gefallen und hat also einen Weg $s = \frac{g}{2} t^2$ d. i. für preuß. Maß

$$= \frac{31{,}25 \cdot 36}{2} = 562{,}5 \text{ preuß. Fuß}$$

zurückgelegt.

IV. Von den Kräften, deren Maßbestimmung und Wirkungsgröße.

1) Die vorzüglichsten bewegenden Kräfte (Motoren) sind: die Anziehungskraft der Erde oder die Schwerkraft. Beispiele: Gewicht an Uhren, Wasser als Triebkraft 2c. — Sodann die Expansivkraft, vorzüglich der Gase und Dämpfe. Beispiele: Luft im Wind-

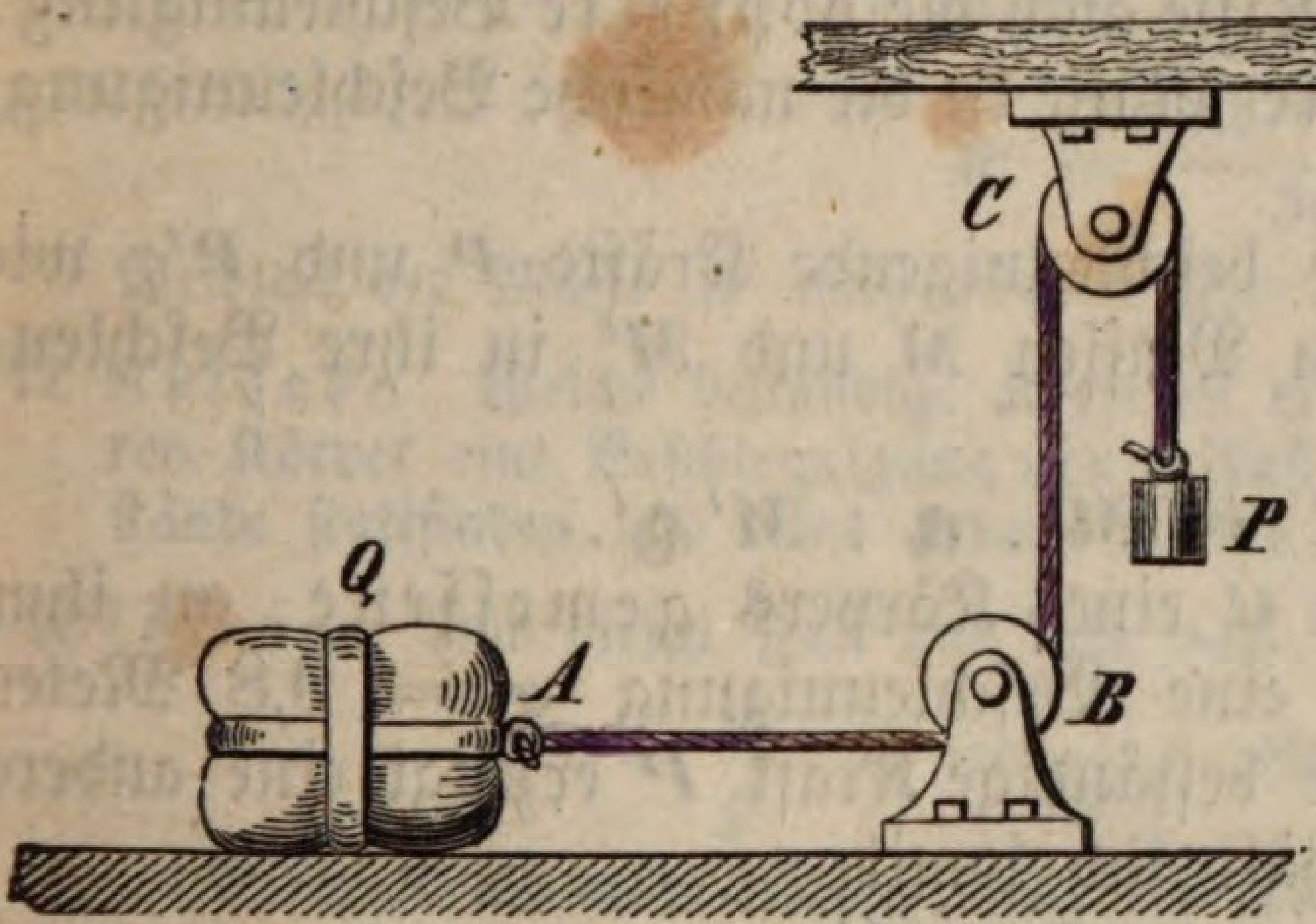
kessel der Pumpen und Feuerspritzen, die Wirkung der Geschütze, Damfmaschinen 2c.; Wirkung der Uhrenfedern.

Weitere bewegende Kräfte sind noch die elektrischen und magnetischen Kräfte und die Muskelkraft der Thiere und Menschen. — Bewegende Kraft des Windes.

Beschleunigende und verzögernde Kräfte, je nach der Art der Einwirkung. Beständig und vorübergehend wirkende Kräfte. — Die Bezeichnung Momentankräfte für letztere nicht gut.

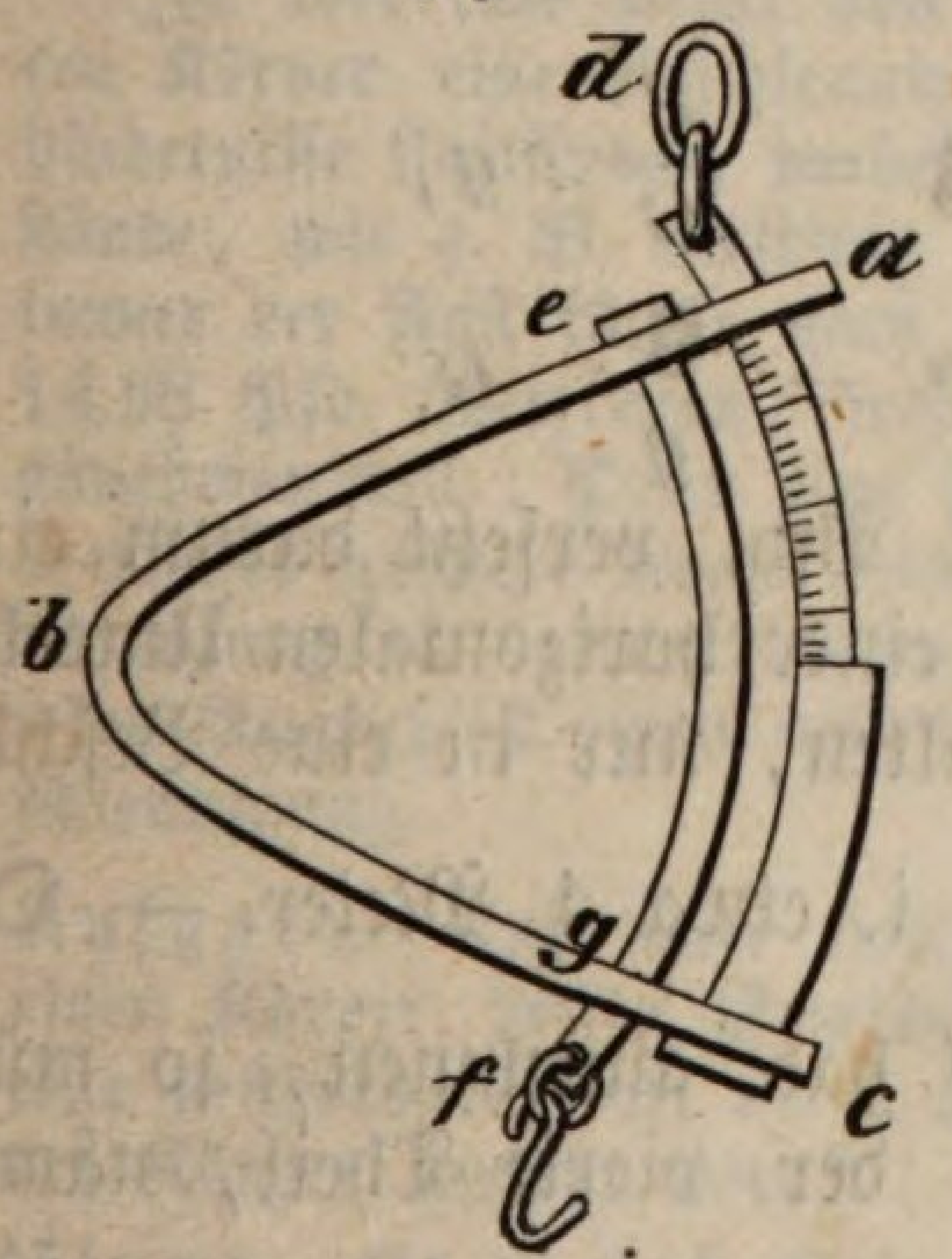
2) Die Wirkung einer jeden Kraft ist entweder ein Druck oder ein Zug. Da dieses aber immerhin auch und in gleichem Maß durch ein Gewicht erzeugt werden kann, so sind Gewichte das Maß der Kräfte. — So gibt in Fig. 5 das Gewicht *P* die Größe der Kraft an, die nöthig ist, um das Gewicht *Q* in horizontaler Richtung fortzuziehen. Das Gewicht *P* kann die Last *Q* gerade so bewegen, als wenn in *A* ein Pferd 2c. zöge.

Fig. 5.



Man spricht darum von einer Kraft von 60 Pfd., 40 Kg. 2c. Eine Kraft von 60 Pfd., 40 Kg. 2c. aber hebt 60 Pfd., 40 Kg. 2c. gerade in die Höhe; und es ist darum die Größe einer Kraft überhaupt ausgedrückt, wenn man weiß, welches Gewicht sie senkrecht vom Boden hebt*).

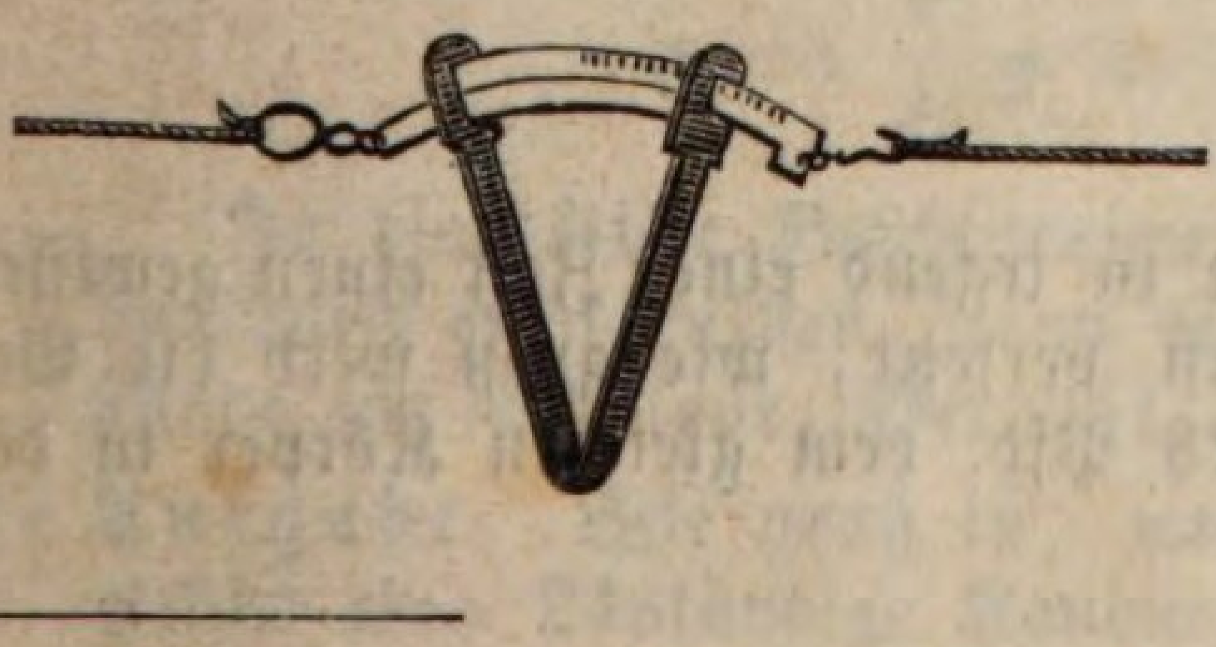
Fig. 6.



Messen der Kräfte durch den Kraftmesser oder Dynamometer Fig. 6 und 7.

3) Eine 2mal, 3mal 2c. größere Kraft ertheilt der nämlichen Masse in gleicher Zeit auch eine 2mal, 3mal 2c. größere Geschwindigkeit.

Fig. 7.



Es verhalten sich dann die Kräfte, wie die ertheilten Geschwindigkeiten.

Soll hingegen die 3mal, 4mal 2c. größere Masse die nämliche Geschwin-

*) Die allgemeine Bezeichnung einer Kraft ist in der Folge immer der Buchstabe *P*.

digkeit erhalten, wie die einfache Masse, so erfordert es auch eine 3mal, 4mal ꝛc. größere Kraft.

Es müssen sich dann die Kräfte wie die bewegten Massen verhalten.

Soll aber eine 3mal größere Masse auch noch in die 4fache Geschwindigkeit versetzt werden, so ist hiezu eine $3 . 4 = 12$fache Kraft nöthig.

Die bewegenden Kräfte verhalten sich darum, wie die Produkte der Massen und Geschwindigkeiten.

Das eben Gesagte gilt sowohl von einer gleichförmigen, als beschleunigten Bewegung. Die doppelte, beständige Kraft erzeugt in gleicher Zeit bei der nämlichen Masse auch die doppelte Beschleunigung; — oder sie versetzt die doppelte Masse in die nämliche Beschleunigung, wie die einfache.

Endlich verhalten sich auch beschleunigende Kräfte P und P', wie die Produkte der beschleunigten Massen M und M' in ihre Beschleunigungen $\mathfrak{g}$ und $\mathfrak{g}'$;

$$\text{d. h. } P : P' = M . \mathfrak{g} : M' \mathfrak{g}'.$$

4) Die durch das Gewicht G eines Körpers gemessene, an ihm wirksame Schwerkraft erzeugt eine Beschleunigung $g = 9{,}8$ Meter $= 32{,}7'$ bad. ꝛc. Eine andere beständige Kraft P erzeugt eine andere Beschleunigung $\mathfrak{g}$; und es verhält sich somit

$$\mathfrak{g} : g = P : G;$$

woraus man erhält:

$$\text{Größe der Beschleunigung } \mathfrak{g} = \frac{P}{G} . g,$$

$$\text{" " Kraft } P = \frac{\mathfrak{g}}{g} . G.$$

Eine beständig wirkende Kraft von 1 Pfd. versetzt darum einen 10 Pfd. schweren Körper, wenn dieser auf einer horizontalen Unterlage liegt und keine Bewegungshindernisse obwalten, nur in eine Beschleunigung von $\frac{1}{10} g = \frac{1}{10} . 9{,}8$ Meter, d. i. etwa 1 Meter. — Oder soll ein Körper eine Beschleunigung von 8′ bad. annehmen, so müßte die nöthige beständige Kraft P nur etwa der vierte Theil, nämlich $\frac{32{,}7}{8}$ des Gewichts des Körpers betragen.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Eine Kraft von 10 Pfd. habe in irgend einer Zeit einen gewissen Körper in eine Geschwindigkeit von 8 Fuß versetzt; wie groß wird die Geschwindigkeit sein, welche eine Kraft von 25 Pfd. dem gleichen Körper in der nämlichen Zeit mittheilt?

Auflösung. Nach Satz 3 verhält sich

$$P : P' = v : v'$$

$$\text{d. i. } 10 : 25 = 8 : v';$$

es ist also

$$v' = \frac{25 \cdot 8}{10} = 20 \text{ Fuß};$$

vorausgesetzt, daß die Bewegungsmittheilung unter gleichen Umständen erfolgt.

2te Aufgabe. Wenn eine Kraft von 36 Pfd. einer Masse, welche ein Gewicht von 100 Pfd. hat, eine Geschwindigkeit von 5 Fuß mittheilt, welche Masse wird in der gleichen Zeit, am gleichen Ort und unter gleichen Umständen durch eine Kraft von 45 Pfd. in eine Geschwindigkeit von 6 Fuß versetzt?

Auflösung. Es verhält sich

$$P : P' = Mv : M'v';$$

$$\text{folglich } 36 : 45 = 100 \cdot 5 : M' \cdot 6$$

$$6\,M' = \frac{45 \cdot 100 \cdot 5}{36}$$

$$M' = \frac{45 \cdot 100 \cdot 5}{36 \cdot 6} = 104{,}16 \text{ Pfd. d. h. das}$$

Gewicht der Masse M' muß 104,16 Pfd. betragen.

3te Aufgabe. Welche beständige Kraft ist erforderlich, um einem 80 Pfd. schweren Körper eine Beschleunigung von 6 Fuß bad. mitzutheilen, wenn keine Widerstände stattfinden und keine andern Kräfte entgegenwirken?

Auflösung. Für diesen Fall hat man nach Satz 4

$$P = \frac{\mathfrak{g}}{g} \cdot G = \frac{6}{32{,}7} \cdot 80 = 14{,}68 \text{ Pfd.}$$

Diese Kraft wäre nöthig, um dem Körper auf einer vollkommen glatten, horizontalen Bahn die genannte Beschleunigung von 6′ mitzutheilen.

Ist aber eine Kraft von 14,68 Pfd. erforderlich, um einem 80 Pfd. schweren Körper eine Beschleunigung von 6′ mitzutheilen, wenn keine Bewegungshindernisse stattfinden, so heißt dies auch so: Wenn bei der Bewegung Widerstände, wie z. B. Reibung zu überwinden sind, wie es in der Wirklichkeit ja immer der Fall ist, so muß die aufgebotene Kraft diese Widerstände um obige 14,68 Pfd. übertreffen, wenn der Körper die genannte Beschleunigung von 6′ annehmen soll. Denn eine dem Widerstand gleiche, oder vielmehr, eine um ein Geringes größere Kraft vermag gerade den Widerstand zu überwinden und eine Bewegung zu veranlassen; ein Ueberschuß von Kraft aber erzeugt (III S. 6) jeden Augenblick einen neuen Anstoß, eine neue Geschwindigkeit, d. h. eine Beschleunigung.

4te Aufgabe. Auf einer horizontalen und vollkommen glatten Bahn wirke auf einen Körper, dessen Gewicht = 20 Kilogramme ist, nach horizontaler Richtung eine beständige Kraft = 4 Kilogr.; wie groß ist die Beschleunigung, in welche der Körper versetzt wird?

Auflösung. Es ist nach Satz 4

$$\mathfrak{g} = \frac{P}{G} g = \frac{4}{20} \cdot 9{,}81 = 1{,}962 \text{ Meter.}$$

In die gleiche Beschleunigung gelangt auch der nämliche Körper bei vorhandenen Hindernissen, wenn die bewegende Kraft die zu überwindenden Widerstände um 4 Kilogr. übertrifft.

5te Aufgabe. Wie groß ist, nach Abzug des Reibungswiderstandes, die Kraft, welche eine 24pfündige Kanonenkugel in eine Geschwindigkeit von 700 Meter versetzt, wenn der Lauf der Kanone 2 Meter lang ist?

Auflösung. Nach Aufgabe 5 über beschleunigte Bewegung erleidet die frag-

liche Kugel im Lauf eine Beschleunigung $\mathfrak{g} = 122500$ Meter. Dazu ist eine Kraft

$$P = \frac{\mathfrak{g}}{g} G = \frac{122500}{9{,}81} \,.\, 24 = 300000 \text{ Pfund}.$$

nothwendig.

Dies ist aber lange nicht die gesammte Kraft, welche durch die Expansion der Gase ausgeübt wird, denn neben Ueberwindung des vorhandenen Reibungswiderstandes wirkt ein großer Theil der Kraft auf die Geschützröhre selbst und versetzt diese in eine retrograde Bewegung.

6te Aufgabe. Wenn ein sich selbst überlassener, mit 10 bad. Fuß Geschwindigkeit fortgleitender 1600 Pfd. schwerer Schlitten auf einer horizontalen Bahn in Folge der Reibung nach 30 Sekunden zur Ruhe kommt, wie groß ist der Reibungswiderstand?

Auflösung. Da die Bewegung eine verzögerte ist und die Endgeschwindigkeit v zu Null werden soll, so folgt aus den Sätzen III. 10 und IV. 4:

$$v = c - \frac{P}{G} \,.\, g\,t = 0 \text{ und}$$

$$c = \frac{P}{G} \,.\, g\,t; \text{ also } 10 = \frac{P}{1600} \,.\, 32{,}7 \,.\, 30;$$

woraus sich ergiebt: Widerstand $P = \frac{1600 \,.\, 10}{32{,}7 \,.\, 30} = 16{,}3$ Pfd. d. i. ca. $1/_{100}$ der Last. — So groß muß auch die Kraft sein, um den fraglichen Schlitten fortzubewegen.

7te Aufgabe. Umgekehrt, es sei der Reibungswiderstand auf einer Eisenbahn (vom Luftwiderstand werde abgesehen) $1/_{200}$ der Belastung, nach welcher Zeit kommt ein Wagenzug zur Ruhe, wenn die Dampfmaschine nicht mehr arbeitet und wenn das Gewicht = 80000 Kilogr. und die Geschwindigkeit = 10 Meter ist?

Auflösung. Es ist, nach $v = c - \frac{P}{G} \,.\, gt$,

$$0 = 10 - \frac{400}{80000} \,.\, 9{,}81 \,.\, t; \text{ folglich}$$

$$t = \frac{10 \,.\, 80000}{400 \,.\, 9{,}81} = 203{,}9 \text{ Sekunden.}$$

Den in dieser Zeit zurückgelegten Weg findet man

$$s = \frac{v \,.\, t}{2} = \frac{10 \,.\, 203{,}9}{2} = 1019{,}5 \text{ Meter.}$$

5) Arbeit oder Leistung einer Kraft. Diese ist nicht bloß abhängig von der Größe des überwundenen Widerstandes oder der gehobenen Last, sondern auch von der Größe des Weges, auf welchem der Widerstand überwunden oder die Last bewegt wurde. Denn ein Arbeiter, der die nämliche Last doppelt soweit trägt, als ein anderer, leistet doppelt soviel. Eine Pumpe, welche bei einem Hub die nämliche Wassermenge hebt, wie eine andere, die aber in der nämlichen Zeit doppelt soviele Hübe macht, verrichtet auch die doppelte Arbeit. — Die Ueberwindung eines doppelten Widerstandes auf dreifachem Weg erfordert aber die sechsfache Arbeit.

Ist darum P die Größe einer Kraft oder des überwundenen Wider=

standes und s der während der Krafteinwirkung zurückgelegte Weg, so bezeichnet allgemein $P\,.\,s$ die verrichtete Arbeits- oder Wirkungs-größe.

Die in einer Sekunde verrichtete Arbeit aber wäre durch $P\,.\,v$ ausgedrückt, da v der sekundliche Weg ist.

6) Da der Ausdruck für die Arbeit ein Produkt aus Gewicht (Pfd. oder Kg.) und Längenmaß (Fuß oder Meter) ist, so nennt man die bei Ueberwindung von einem Widerstand von 80 Pfd. auf 100′ Weg verrichtete Arbeit

$P\,.\,s = 80\,.\,100 = 8000$ Fußpfund $= 8000$ Fpfd.

Oder wenn 60 Kg. 50 Meter weit überwunden werden:

$P\,.\,s = 60\,.\,50 = 3000$ Kilogrammeter $= 3000$ *Km.*

Um größere Leistungen z. B. der Dampfmaschinen 2c. zu bezeichnen, hat man den Ausdruck Pferdekraft gewählt, worunter man eine mechanische Leistung von 75 *Km.* = 500 Fußpfd. bad. = 525 Fußpfd. württ. = 480 Fußpfd. preuß. 2c. per Sekunde versteht *).

Eine Leistung von 3750 *Km.* ist also $= \frac{3750}{75} = 50$ Pferdekräfte.

Die Annahme einer solchen größern Maßeinheit ist willkürlich.

7) Totaleffekt und Nutzeffekt. Letzterer ist immer nur ein Theil des ersteren, da ein anderer Theil durch Ueberwindung von Bewegungshindernissen aufgezehrt wird, oder nicht zur Wirkung gelangt. So ist der Nutzeffekt der Dampfmaschinen gewöhnlich nicht über $\frac{1}{2}$ des Totaleffektes.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Wenn ein Pferd bei einer Geschwindigkeit von $1\frac{1}{2}$ Meter einen Wagen zieht, und der Kraftmesser zeigt eine fortwährende Spannung von 48 Kilogr., wie groß ist die vom Pferde verrichtete Arbeit?

Auflösung. Es ist $Ps = 48\,.\,1\frac{1}{2} = 72$ *Km.* per Sek.;
folglich $Ps. = 60 \cdot 72 = 4320$ *Km.* per Minute.

2te Aufgabe Welche Arbeit ist aufzubieten, um eine Last von 20 Centner 30 bad. Fuß hoch zu heben?

Auflösung. Da der zu überwältigende Widerstand $Q = 20 \cdot 100$ Pfd., so ist die zu verrichtende Arbeitsgröße $Q\,.\,s = 2000\,.\,30 = 60000$ Fpfd.

Soll die Arbeit in einer Minute beendigt sein, so sind hiezu $\frac{60000}{60\,.\,500}$ d. i. 2 Pferdekräfte nöthig, d. h. die Leistungsfähigkeit irgend einer Kraft (einer Maschine) muß, abgesehen von den Bewegungshindernissen, so groß sein. Sollen also aus einem Bergwerke 2c. in der Minute 20 Centner 30′ hoch gehoben werden, so bedürfte es einer Dampf- oder einer andern Maschine, deren nutzbarer Effekt 2 Pferdekräfte betrüge.

Wenn die zum Heben angewendete Kraft nur 50 Pfund groß ist**),

*) Die Größe der Pferdekraft in andern Landesmaßen s. Anhang.

**) Es versteht sich, daß eine kleinere Kraft nicht unmittelbar auf eine größere Last, sondern nur, — vergl. unten Abschnitt IX — vermittelst besonderer Vorrichtungen d. i. Maschinen auf diese überwältigend wirken kann.

so muß selbige während der Hebung der Last einen Weg s zurücklegen, welcher

$$= \frac{60000}{50} = 1200 \text{ d. i. } 40 \cdot 30 \text{ Fuß ist.}$$

Denn die Wirkung, welche von der Kraft während des Hebens ausgeübt werden kann, also Ps ist $= 50 \cdot s$. Diese Wirkung muß aber so groß sein, als obige Wirkung von 60000 Fpfd., welche ausgeübt werden soll; daher $50 \cdot s = 60000$, und folglich

$$s = \frac{60000}{50}.$$

Da die Kraft, welche 40mal kleiner ist als die Last, den 40fachen Weg dieser letztern zurücklegen muß, so sieht man, daß in dem Verhältniß, wie die Kraft geringer ist, als die zu überwindende Last, erstere einen so vielmal größern Weg zu durchlaufen hat.

3te Aufgabe. Wie groß muß die Wirkungsgröße in einer Sekunde sein, um einen Hammer von 600 Zollpfd. Gewicht, der in 1 Minute 100 Schläge machen und jedesmal 22 preuß. Zoll hoch gehoben werden soll, im Gang zu erhalten?

Auflösung. Da der Weg des Hammers per Minute $= \frac{100 \cdot 22}{12} = \frac{550}{3}$ Fuß,

so ist die sekundliche Arbeit $Ps = \frac{600 \cdot 550}{3 \cdot 60} = 1833$ Fpfd.;

$$\text{d. i. } Ps = \frac{1833}{480} = 3{,}8 \text{ Pferdekräfte.}$$

4te Aufgabe. Wenn vermittelst einer mechanischen Arbeit von 180 *Km.* ein Wagen auf einer ebenen Straße um 9 Meter vorwärts getrieben wird, wie groß ist der Reibungswiderstand, vorausgesetzt, daß die Kraftanstrengung gerade so groß war, um die Bewegung zu erhalten?

Auflösung. Es ist hier $Ps = 180$ *Km.*;

$$\text{folglich } P = \frac{180}{s} = \frac{180}{9} = 20 \text{ Kilogr.}$$

5te Aufgabe. Wenn vermittelst eines 8 Centner schweren Rammklotzes *A* Fig. 8, welcher von einer Höhe von 10 Fuß herunterfällt, ein Pfahl *D* so in die Erde getrieben wurde, daß derselbe in den letzten 10 Schlägen 3 Zoll tiefer in die Erde eingedrungen ist, wie viel ist der Pfahl im Stande zu tragen, ohne weiter einzusinken?

Auflösung. Nennt man allgemein das Gewicht des Rammklotzes P, und die Fallhöhe h, so ist die mechanische Arbeit des Rammklotzes bei jedem Schlag $= P \cdot h$.

Bezeichnet aber Q den Widerstand des Erdreichs und s' den Weg, den der Pfahl bei jedem Schlage macht, d. h. die Länge des Eindringens, so ist die vom Pfahl bei jedem Schlage verrichtete Arbeit $= Q \cdot s'$. Diese muß, wenn durch den Stoß kein Arbeitsverlust eintreten würde, natürlich der obigen vom Kloß auf den Pfahl übertragenen Arbeit gleich sein.

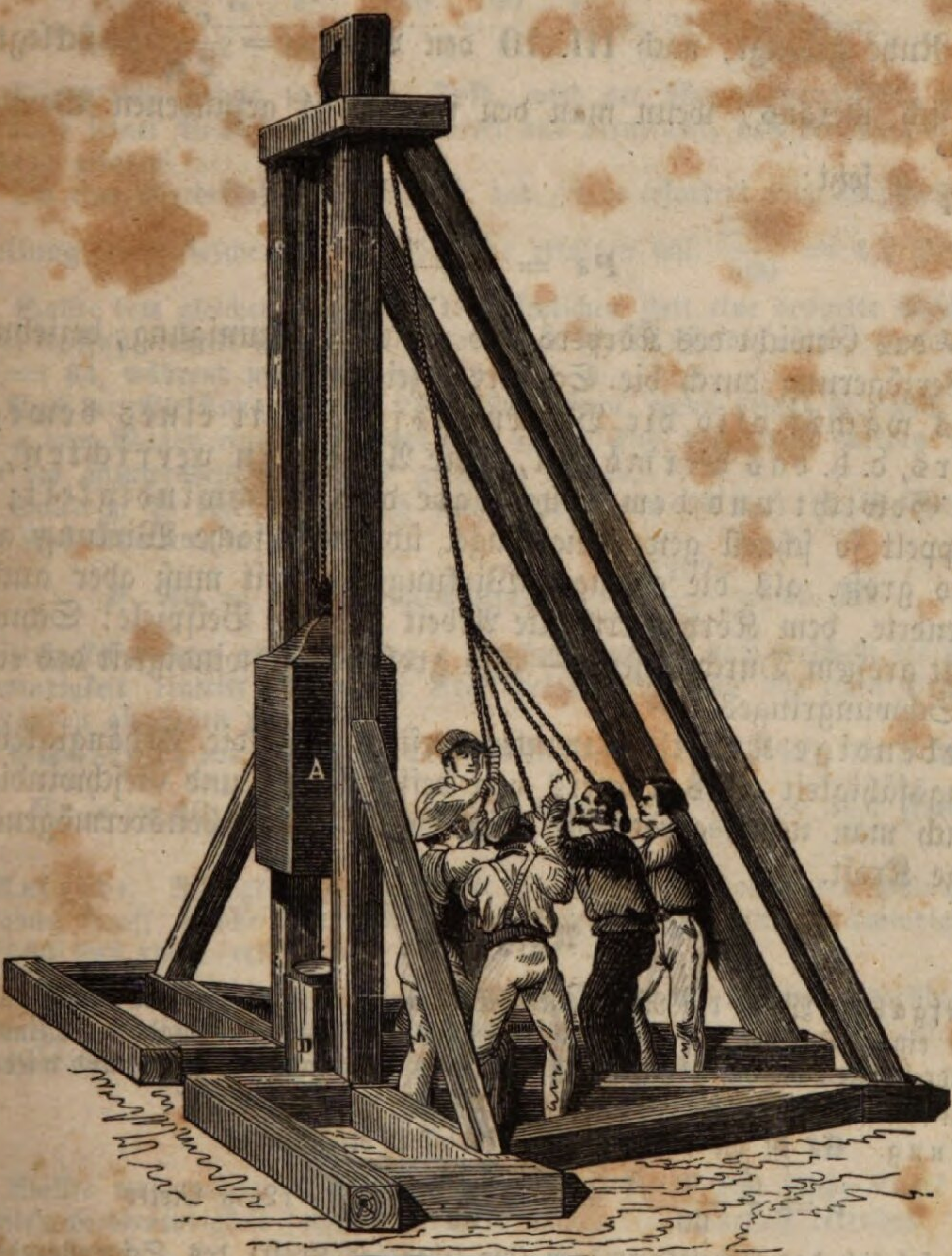
Somit ist $Ph = Q \cdot s'$.

In vorstehendem Beispiele ist daher

$$800 \cdot 10 = Q \cdot \frac{3}{20 \cdot 10}, \text{ weil}$$

$$s' = \frac{3}{20 \cdot 10} \text{ Fuß ist (zehntheil. Maß).}$$

Fig. 8.



Es ergibt sich darum für den Widerstand des Erdreichs, oder mit andern Worten, für die Last, welche der Pfahl tragen kann, ohne tiefer einzudringen,

$$Q = \frac{800 \,.\, 10 \,.\, 20 \,.\, 10}{3} = 533333 \text{ Pfd.}$$

Der Sicherheit wegen, und da immer ein Arbeitsverlust eintritt, soll man aber dem Pfahl nur $^1/_8$ bis $^1/_{10}$ dieses Gewichtes aufladen.

8) Ein in Bewegung versetzter Körper verrichtet immer eine Arbeit, da er einen Widerstand auf einem gewissen Wege überwindet.

Wird eine Kugel mit einer gewissen Geschwindigkeit fortgeworfen, so hat sie also eine gewisse Wirkungsfähigkeit erlangt, welche um so größer ist, je größer die Masse und die ertheilte Geschwindigkeit sind.

Da ein Körper aber, der mit einer Geschwindigkeit c abgeht, bis er zur Ruhe gelangt, nach III. 10 den Weg $s = \frac{c^2}{2\mathfrak{g}}$ zurücklegt, so ergibt sich hieraus, wenn man den in Satz 4 gefundenen Werth für $\mathfrak{g} = \frac{P}{G}\, g$ setzt:

$$Ps = \frac{G \;.\; c^2}{2 \;.\; g},$$

wobei G das Gewicht des Körpers und g die Beschleunigung, beziehungsweise Verzögerung durch die Schwere bezeichnet.

Es wächst also die Wirkungsfähigkeit eines bewegten Körpers, d. h. das Vermögen, eine Arbeit zu verrichten, mit dessen Gewicht und dem Quadrate der Geschwindigkeit; d. h. eine doppelt so schnell geworfene Kugel übt die 4fache Wirkung aus.

So groß, als die erlangte Wirkungsfähigkeit muß aber auch die aufgewendete, dem Körper ertheilte Arbeit sein. — Beispiele: Schwungrad, mit großem Durchmesser, — also großer Geschwindigkeit des eigentlichen Schwungringes. —

Lebendige Kraft! Darunter versteht man die Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit eines Körpers von dessen Masse und Geschwindigkeit, oder auch man nennt gerade die obige Größe des Arbeitsvermögens die lebendige Kraft.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Wenn der Ring eines Schwungrads ein Gewicht von 4000 *Kg.* und einen Durchmesser von 5 Meter hat und wenn das Rad per Minute 48 Umdrehungen macht, wie groß ist das vom Ring aufgenommene und wieder abzugebende Arbeitsvermögen?

Auflösung. Es ist die Umfangsgeschwindigkeit des Ringes

$$v = \frac{d \;.\; \pi \;.\; u}{60} = \frac{5 \;.\; 3{,}14 \;.\; 48}{60} = 12{,}56 \text{ Meter}$$

und folglich das Arbeitsvermögen (die lebendige Kraft) des Schwungrads

$$\frac{Gv^2}{2g} = \frac{4000 \;.\; 12{,}56^2}{2 \;.\; 9{,}81} = 32162 \; Km. = 428{,}8 \text{ Pferdekräfte.}$$

2te Aufgabe. Welches ist der Effekt, welcher dem Wasser innewohnt, das durch einen Fluß von 60 Meter Breite und $1^1/_2$ Meter durchschnittlicher Tiefe fließt, wenn die mittlere Geschwindigkeit des Wassers 1 Meter beträgt?

Auflösung. Die in der Sekunde durchfließende Wassermenge beträgt

$$60 \;.\; 1^1/_2 \;.\; 1 = 90 \text{ Kubikmeter.}$$

Es ist somit das Gewicht dieses Wassers $G = 90 \;.\; 1000 = 90000$ *Kg.*, und daher das sekundliche Arbeitsvermögen oder der Effekt

$$\frac{Gv^2}{2g} = \frac{90000 \;.\; 1^2}{2 \;.\; 9{,}81} = 4587 \; Km. = 61{,}1 \text{ Pferdekräfte.}$$

3te Aufgabe. Welche Arbeitsgröße wird erfordert, um einen Wagen, dessen Gewicht 90 bad. Centner beträgt, abgesehen von der Reibung 2c., in eine Geschwindigkeit von 4′ zu versetzen?

Auflösung. Für diesen Fall ist die Wirkungsgröße

$$Ps = \frac{G \cdot v^2}{2 \cdot 32{,}7} = \frac{90 \cdot 100 \cdot 4^2}{2 \cdot 32{,}7} = 2202 \text{ Fußpfund.}$$

Die gleiche Arbeit von 2202 Fpfd. wird der Wagen verrichten, wenn ein Widerstand seiner Bewegung entgegenwirkt und verursacht, daß der Wagen allmälig zur Ruhe gelangt.

Da eine Pferdekraft = 500 Fpfd. bad. ist, so erfordert obige Geschwindigkeitsmittheilung, wenn solche in einer Sekunde erfolgen soll, $\frac{2202}{500} = 4{,}4$ Pferde.

Sollte dem gleichen Wagen in der nämlichen Zeit eine doppelte Geschwindigkeit = 8 Fuß ertheilt werden, so wären 4mal soviel Pferde nöthig; denn alsdann ist $v^2 = 64$, während vorhin v^2 nur 16 war.

Aus der Gleichung $Ps = 2202$ Fpfd. kann, wenn gesagt ist, nach welchem Wege s dem Wagen eine Geschwindigkeit von 4 Fuß mitgetheilt werden soll, die Größe der anzuwendenden Kraft P gefunden werden.

Sollte z. B. der Wagen nach einem Wege von 40 Fuß die Geschwindigkeit von 4 Fuß erhalten, so wäre

$$P \cdot 40 = 2202; \text{ folglich Kraft } P = \frac{2202}{40} = 55 \text{ Pfd.}$$

Umgekehrt kann auch der Weg s berechnet werden, nach welchem die genannte Geschwindigkeit eintritt, wenn die Kraft bekannt ist, und von allen Bewegungswiderständen abgesehen wird.

Gäbe nämlich das Dynamometer einen Kraftwerth von 60 Pfd. an, so hätte man

$$P \cdot s = 60 \cdot s = 2202; \text{ folglich Weg } s = \frac{2202}{60} = 36{,}7 \text{ Fuß.}$$

4te Aufgabe. Wie groß ist die Arbeit der bei der Explosion des Pulvers wirksamen Kraft, welche einer 24pfündigen Kanonenkugel eine Geschwindigkeit von 1500 Fuß rhein. ertheilt?

Auflösung. Abgesehen von der auf den Lauf und die Lafette ausgeübten Wirkung, und von den Bewegungswiderständen, welche die Kugel im Laufe erleidet, erfordert die Bewegung der Kugel allein eine Arbeitsgröße

$$= \frac{24 \cdot 1500^2}{2 \cdot 31{,}25} = 864000 \text{ Fpfd.}$$

Wollte man mit einer Maschine in jeder Sekunde eine solche Kugel mit der genannten Geschwindigkeit fortschleudern, so müßte der Nutzeffekt derselben

$$= \frac{864000}{510} = 1694 \text{ Pferdkräften sein.}$$

Ebenso groß, wie obige Kraftwirkung, also = 864000 Fpfd. (preuß.) ist auch die Wirkungsfähigkeit der Kugel im Augenblicke des Abschießens.

5te Aufgabe. Ein Wagenzug auf der Eisenbahn, dessen Gewicht 80000 Kilogr. betrage, habe eine Geschwindigkeit von 10 Meter. Wenn nun der Dampfzufluß abgesperrt wird, wie weit geht der Zug noch kraft seines Beharrungsvermögens fort?

Auflösung. Vor Allem bedenke man, daß auf einer vollkommen horizontalen Bahn — wenn wir vom Luftwiderstand absehen — nur der Reibungswiderstand zu überwinden ist. Dieser beträgt aber auf Eisenbahnen gewöhnlich nur $\frac{1}{200}$ der Last; d. h. um auf einer als horizontal angenommenen Eisenbahn 200 Kilogramme zu ziehen, muß man bloß einen beständigen Widerstand von 1 Kilogr. überwinden.

Nach gegenwärtiger Aufgabe beträgt also auf einer horizontalen Bahn der zu überwindende Widerstand $\frac{80000}{200} = 400$ Kilogr. Dieser Widerstand soll nun auf einer unbekannten Länge von s Meter überwunden werden; es muß daher die Wirkungsgröße $P \,.\, s = 400 \,.\, s$ sein.

Der auszuübenden Wirkung muß aber die Wirkungsfähigkeit, welche dem bewegten Zuge innewohnt, gleich sein.

Diese Wirkungsfähigkeit ist gleich

$$\frac{Gv^2}{2 \,.\, 9{,}81} = \frac{80000 \,.\, 10^2}{2 \,.\, 9{,}81}.$$

Somit ist $400 \,.\, s = \frac{80000 \,.\, 100}{2 \,.\, 9{,}81}$; folglich

Weg $s = \frac{80000 \,.\, 100}{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 400} = 1019$ Meter,

wie eine andere Lösung schon oben Seite 32 ergeben hat.

Wollte man wissen, welche mechanische Arbeit aufgeboten werden müßte, um den genannten Bahnzug im Anfange der Bewegung und zwar auf einem Wege von 300 Meter in eine Geschwindigkeit von 10 Meter zu versetzen, so findet man:

1) Arbeit um eine 80000 *Kg.* schwere Masse in eine Geschwindigkeit von 10 Meter zu versetzen (nach Aufg. 3)
$= \frac{80000 \,.\, 10^2}{2 \,.\, 9{,}81} = 407747$ *Km.*

2) Arbeit um auf einem Wege von 300 Meter einen beständigen Widerstand von 400 *Kg.* zu überwinden $= 400 \,.\, 300 = 120000$ „

Also gesammte nöthige Wirkungsgröße $= 527747$ *Km.*

Wäre diese Arbeit in 1 Minute verrichtet worden, d. h. hätte der Zug in 1 Minute die Geschwindigkeit von 10 Meter, und zwar auf dem genannten Wege von 300 Metern (was der mittleren Geschwindigkeit = 5 Meter entspricht) erhalten, so wäre der entwickelte Nutzeffekt der Dampfmaschine

$$= \frac{527747}{60 \,.\, 75} = 117 \text{ Pferdekräften.}$$

Ist der Zug einmal im Gang, so ist, um die fragliche Geschwindigkeit von 10 Meter zu erhalten, bloß ein sekundlicher Effekt von $\frac{400 \,.\, 10}{75} = 53{,}3$ Pferdekräften nothwendig.

6te Aufgabe. Ein 100000 Kilogr. schwerer Wagenzug habe in Folge der Reibung auf der Eisenbahn seine Geschwindigkeit von 12 Meter nach einem zurückgelegten Wege von 1600 Meter gänzlich verloren, nachdem die Dampfmaschine nicht mehr arbeitete; man soll den Bewegungswiderstand berechnen.

Auflösung. Es ist $Ps = \frac{Gv^2}{2 \,.\, 9{,}81} = \frac{100000 \,.\, 144}{2 \,.\, 9{,}81}$;

folglich da $s = 1600$ Meter ist,

Widerstand $P = \frac{100000 \,.\, 144}{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 1600} = 458{,}7$ Kilogr.

d. i. $\frac{100000}{458{,}7} = \frac{1}{218}$ der Last.

V. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte und der von diesen erzeugten Bewegungen.

a. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

1) Wirken mehrere Kräfte auf einen Körper ein, so kann die Frage sein, welche Wirkung sie zusammen verrichten, oder kurz, welche eine Kraft man statt ihrer anwenden müßte.

Sucht man diese eine Kraft, so nennt man das die Kräfte zusammensetzen. Hiebei kommt es nicht bloß auf die Stärke der Kraft, sondern auch auf die Richtung, nach welcher sie wirkt, sowie auf den Angriffspunkt derselben an.

Die aufgefundene Kraft aber, welche die nämliche Wirkung vollbringt, wie jene andern Kräfte zusammen, nennt man die Mittelkraft, Mittlere oder resultirende Kraft; diejenigen Kräfte aber, die man zusammensetzt, die Seitenkräfte.

Fig. 9.

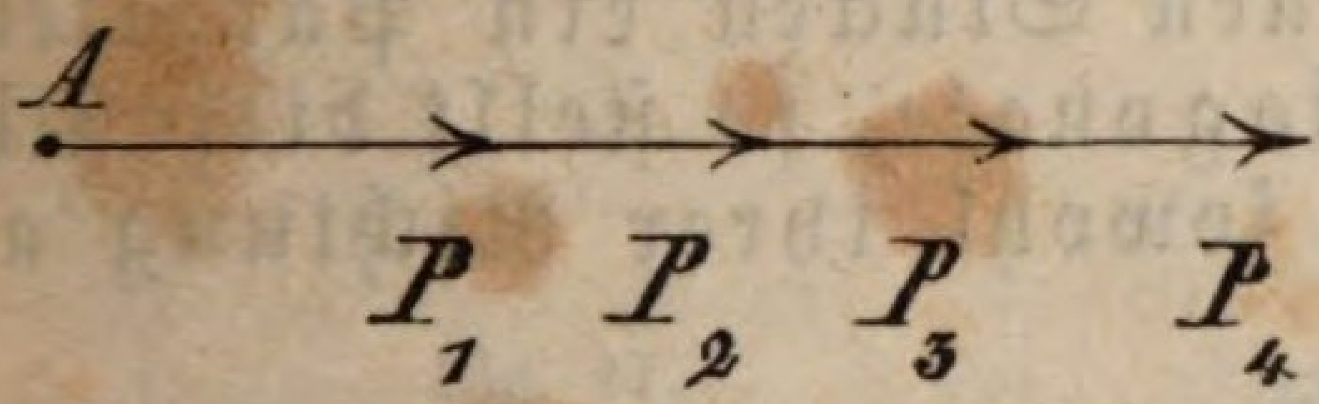


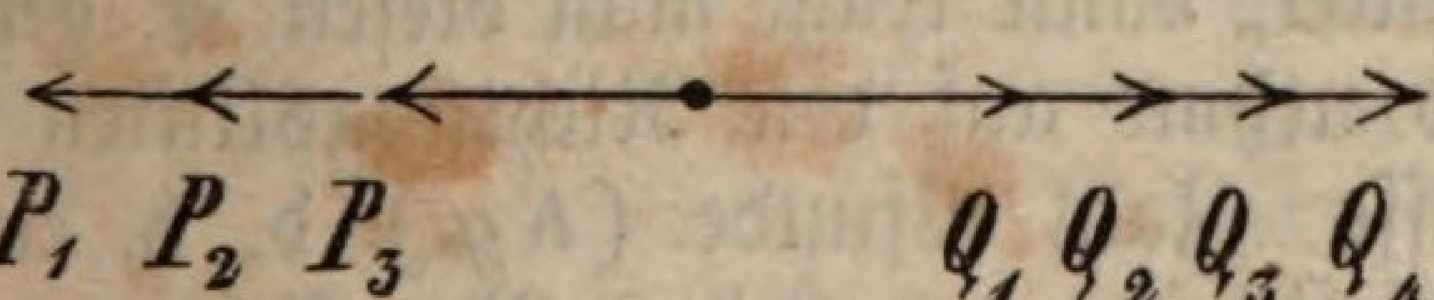
Fig. 10.



2) Wirken, Fig. 9, die Kräfte P_1, P_2, P_3 ꝛc. in gerader Linie und in gleicher Richtung, so ist die Mittlere R natürlich so groß, als alle Seitenkräfte zusammen.

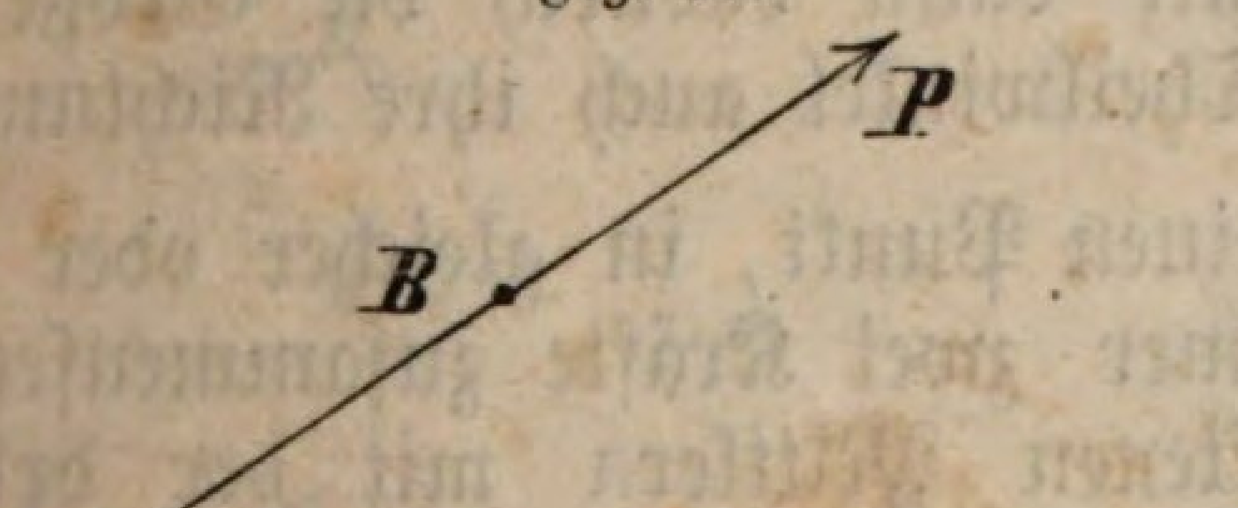
Wirken aber die Kräfte entgegengesetzt, wie in Fig. 10, so zieht man die kleinere von der größern, oder wie in Fig. 11, die kleinere Summe von der größern ab; der Rest gibt die Größe der Mittelkraft an.

Fig. 11.



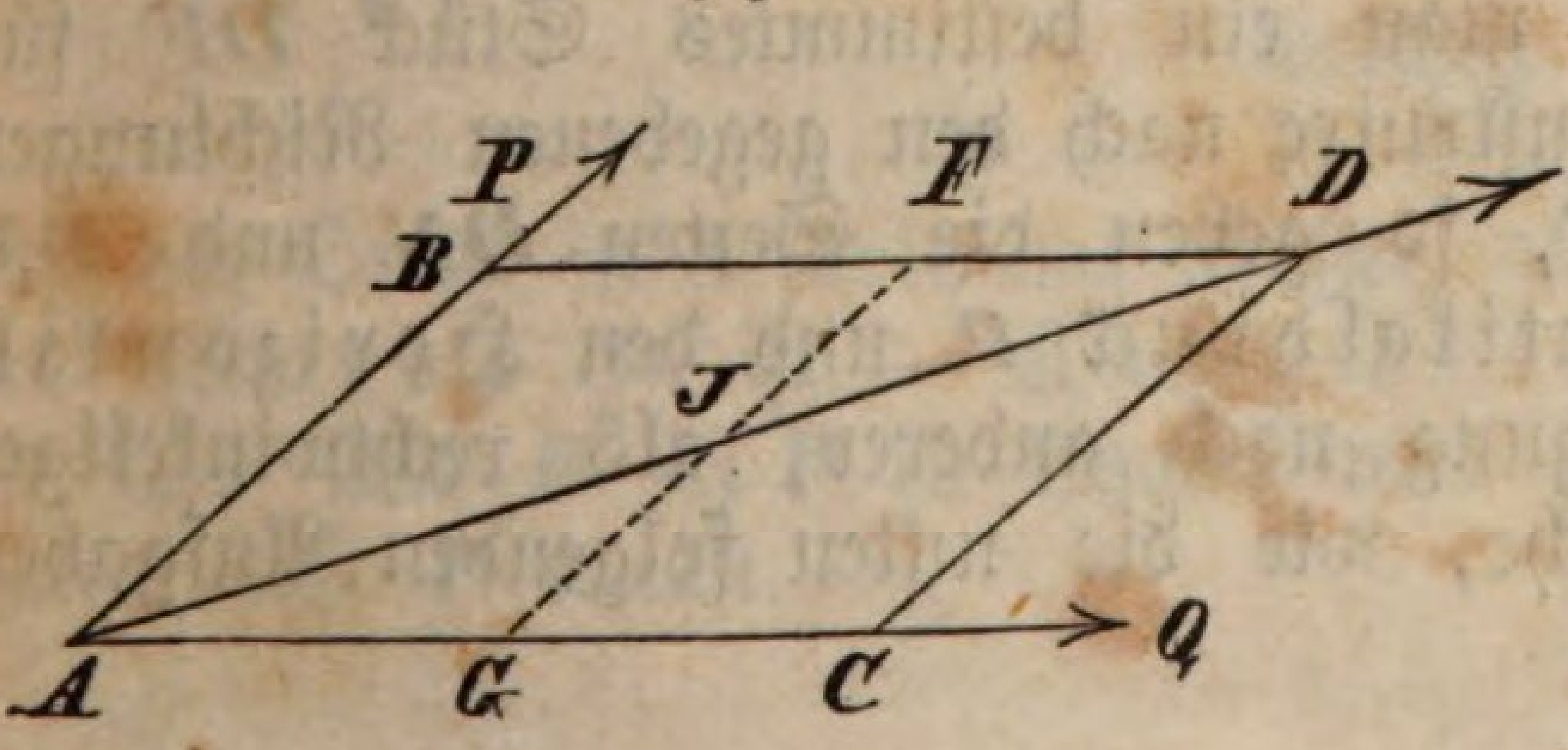
3) Wenn aber, wie in Fig. 12, die Richtungslinien zweier Kräfte einen Winkel bilden, so ist die Mittlere kleiner als ihre Summe, und aber größer als der Unterschied.

Fig. 12.



Stellen AB und AC Fig. 13 die Wege vor, welche ein in A befindlicher Körper durchlaufen würde, wenn er den während gleichen Zeiten wirkenden Kräften P und Q jeder für sich folgen könnte, so stellt die Diagonale des Parallelogramms $ABDC$ den Weg vor, welchen

Fig. 13.



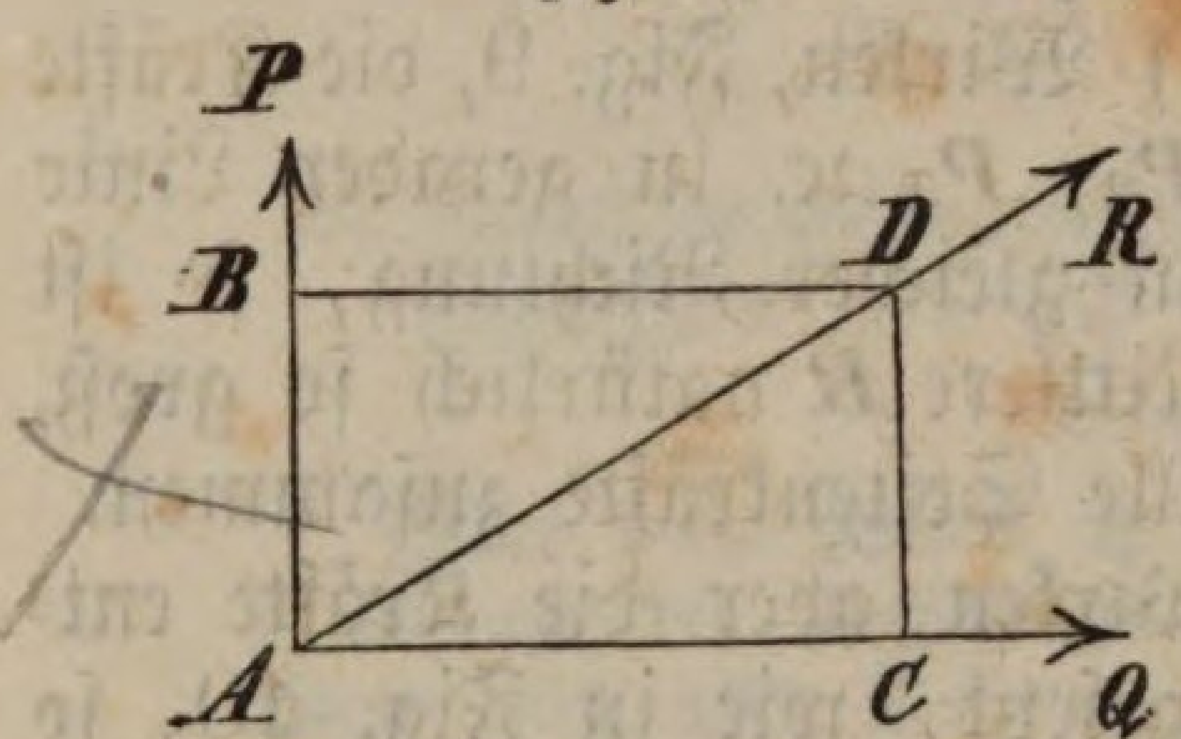
der Körper bei der gleichzeitigen Einwirkung der beiden Kräfte zurücklegt. Denn denkt man, die Kraft *P* verschiebe den Körper *A* auf einer mit diesem verbundenen geraden Linie *AB*, so ist nach Umfluß der Zeit der Körper am Ende der Linie *AB*, die Linie selber aber durch die Kraft *Q* in dieser Zeit in *CD*, also der Körper in *D* angekommen.

Die Stücke *AB* und *AC*, welche die gleichzeitig durchlaufenen Wege darstellen, bezeichnen aber auch die Verhältnisse der Kräfte *P* und *Q*, und darum stellt auch die Diagonale des Parallelogramms *ABDC* die Mittelkraft der gleichzeitig wirkenden Seitenkräfte *P* und *Q* vor.

Der durch das sogen. Parallelogramm der Kräfte ausgedrückte wichtige Satz heißt darum:

> Man nehme auf den Richtungslinien der Kräfte Stücke an, welche ihrer Größe nach sich zu einander verhalten wie die Kräfte; alsdann construire man über diesen angenommenen Stücken ein Parallelogramm und ziehe die Diagonale, so stellt diese Diagonale die Mittelkraft sowohl ihrer Richtung als auch Größe nach vor.

Fig. 14.



4) Wirken die Kräfte unter einem rechten Winkel Fig 14, so ist nach einem geometrischen Satze $\overline{AD}^2 = \overline{CD}^2 + \overline{AC}^2$,

also $R^2 = P^2 + Q^2$,

und $R = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

Wirken die Kräfte aber unter einem schiefen Winkel, dann trage man diesen ∢ genau ab und nehme auf den Richtungslinien ein bestimmtes Stück für eine gewisse Zahl Pfunde (*Kg.*) d. h. einen bestimmten Theil der Kraft an; construire dann das Parallelogramm, messe die Diagonale, und man erhält dann dadurch die Größe der Mittelkraft, sowie durch Messen der Theilwinkel auch ihre Richtung.

5) Wirken mehrere Kräfte auf einen Punkt, in gleicher oder verschiedenen Ebenen, so kann man immer zwei Kräfte zusammensetzen; die Zusammensetzung der also erhaltenen Mittlern mit der dritten Seitenkraft gibt eine neue Mittlere u. s. w. S. Fig. 15.

6) Wirkt eine Kraft *R* in der Richtung *CD* Fig. 16, und man soll dieselbe nach vertikaler und horizontaler Richtung in Seitenkräfte zerlegen, so nimmt man ein bestimmtes Stück *DF* für die Größe der Kraft *R* an, construire nach den gegebenen Richtungen des Parallelogramms *MDNF*, so geben die Seiten *DN* und *DM* die Seitenkräfte, hier den Vertikaldruck *P* und den Horizontalschub *Q*, an. — Die Zerlegung nach anderer, als rechtwinkeliger Richtung ist ganz die nämliche, wie die unten folgenden Aufgaben zeigen.

Fig. 15.

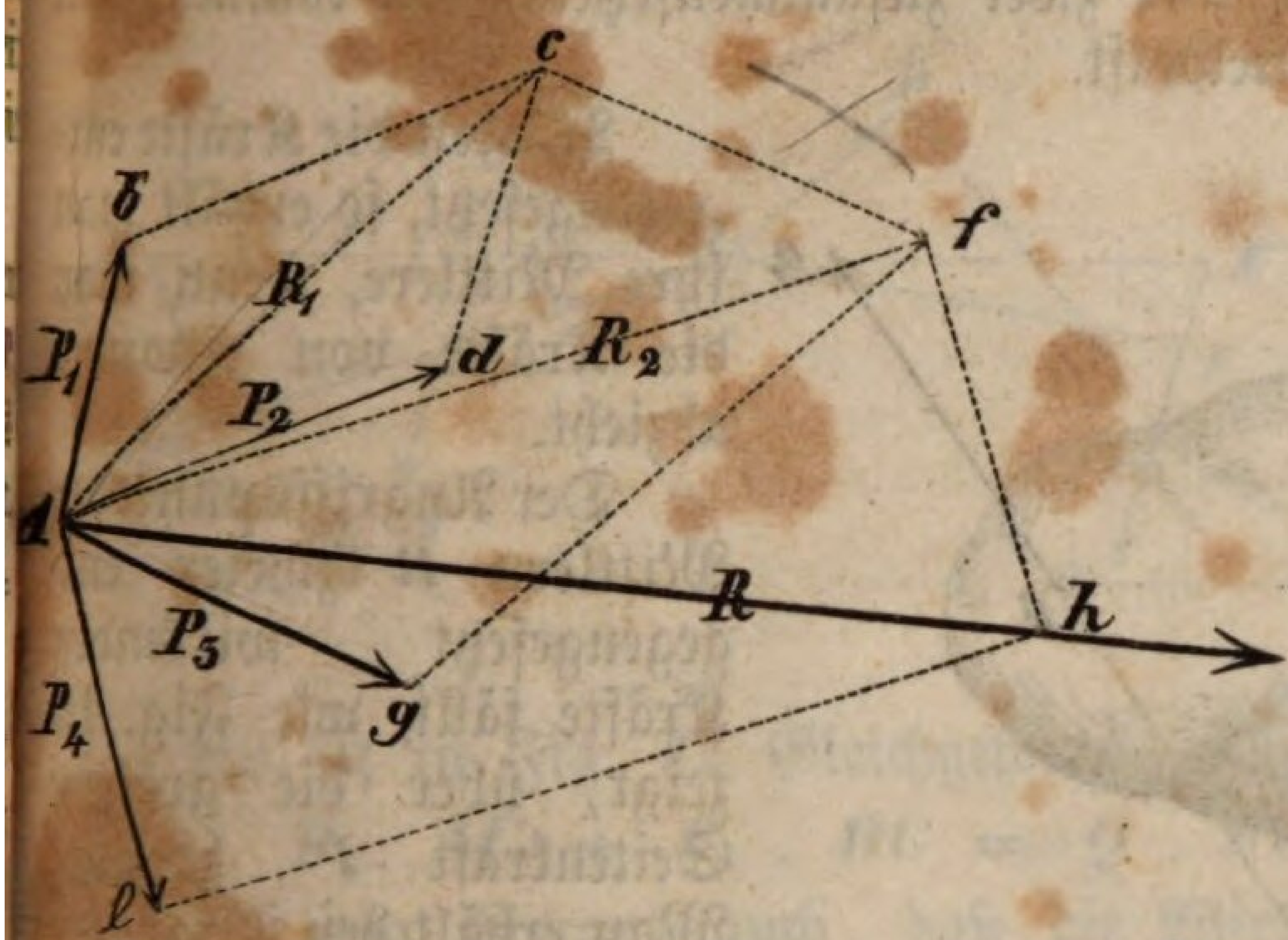


Fig. 16.

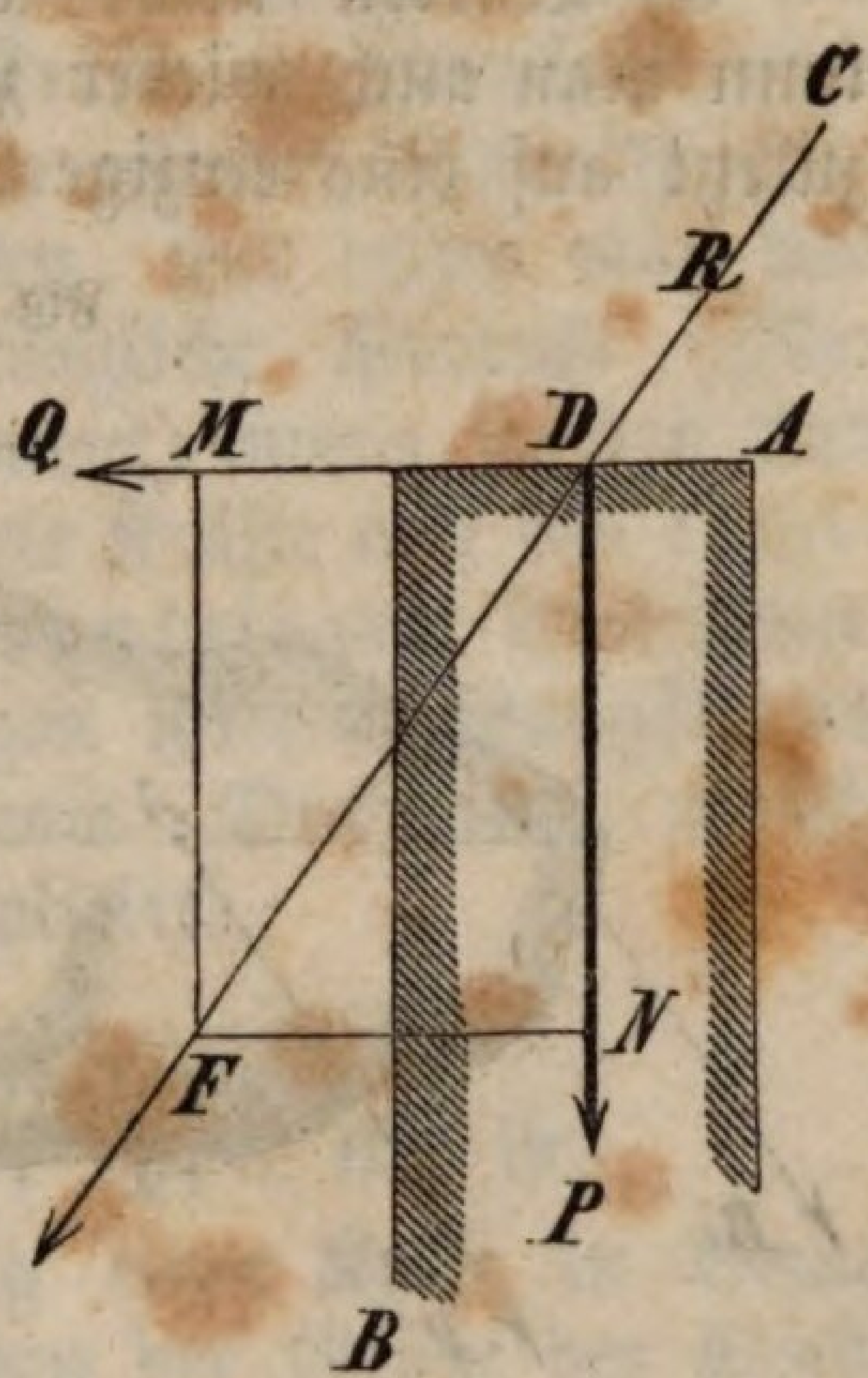


Fig. 17.

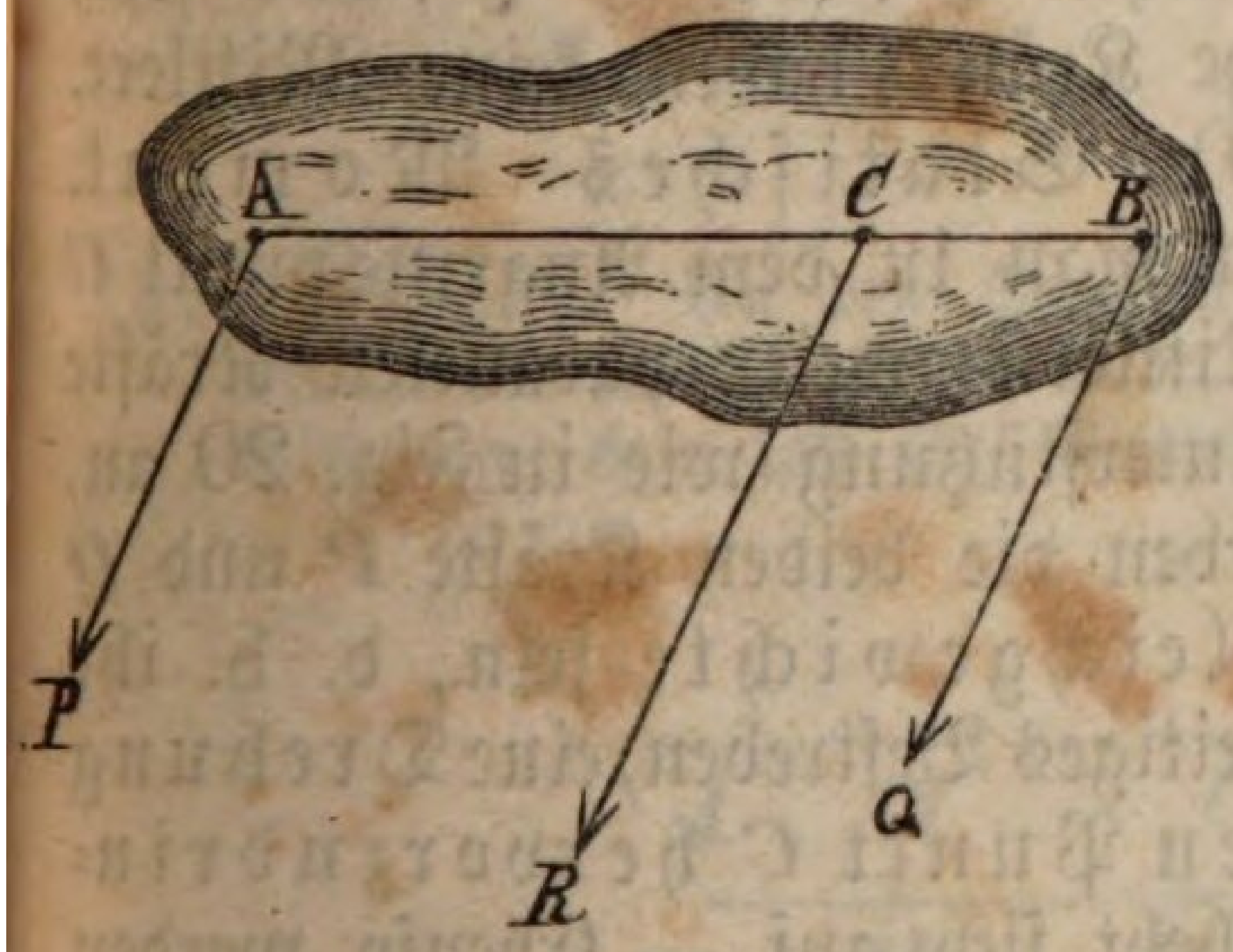
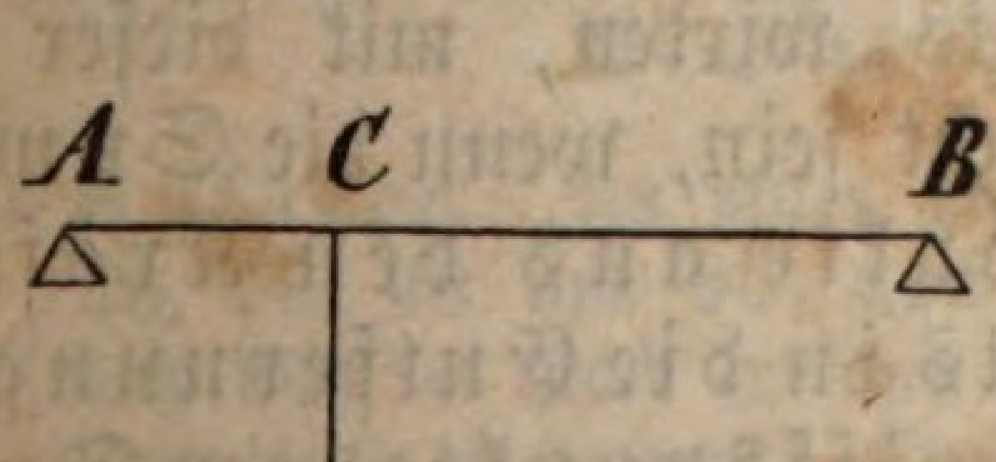


Fig. 18.



7) Wirken die Kräfte *P* und *Q* Fig. 17 parallel, so ist ihre Mittlere so groß, als die Kräfte *P* und *Q* zusammen. Ihr Angriffspunkt *C* müßte, wenn *P* und *Q* gleich groß wären, natürlich in der Mitte zwischen *A* und *B* liegen. — Ist aber eine Seitenkraft z. B. *Q* größer, so muß der Angriffspunkt der Mittlern dem Punkte *B*, wo *Q* wirkt, näher sein, und zwar muß die Entfernung *CB* sovielmal kleiner, als *AC* sein, sovielmal *Q* größer als *P* ist.

Daraus ergiebt sich, daß immerhin

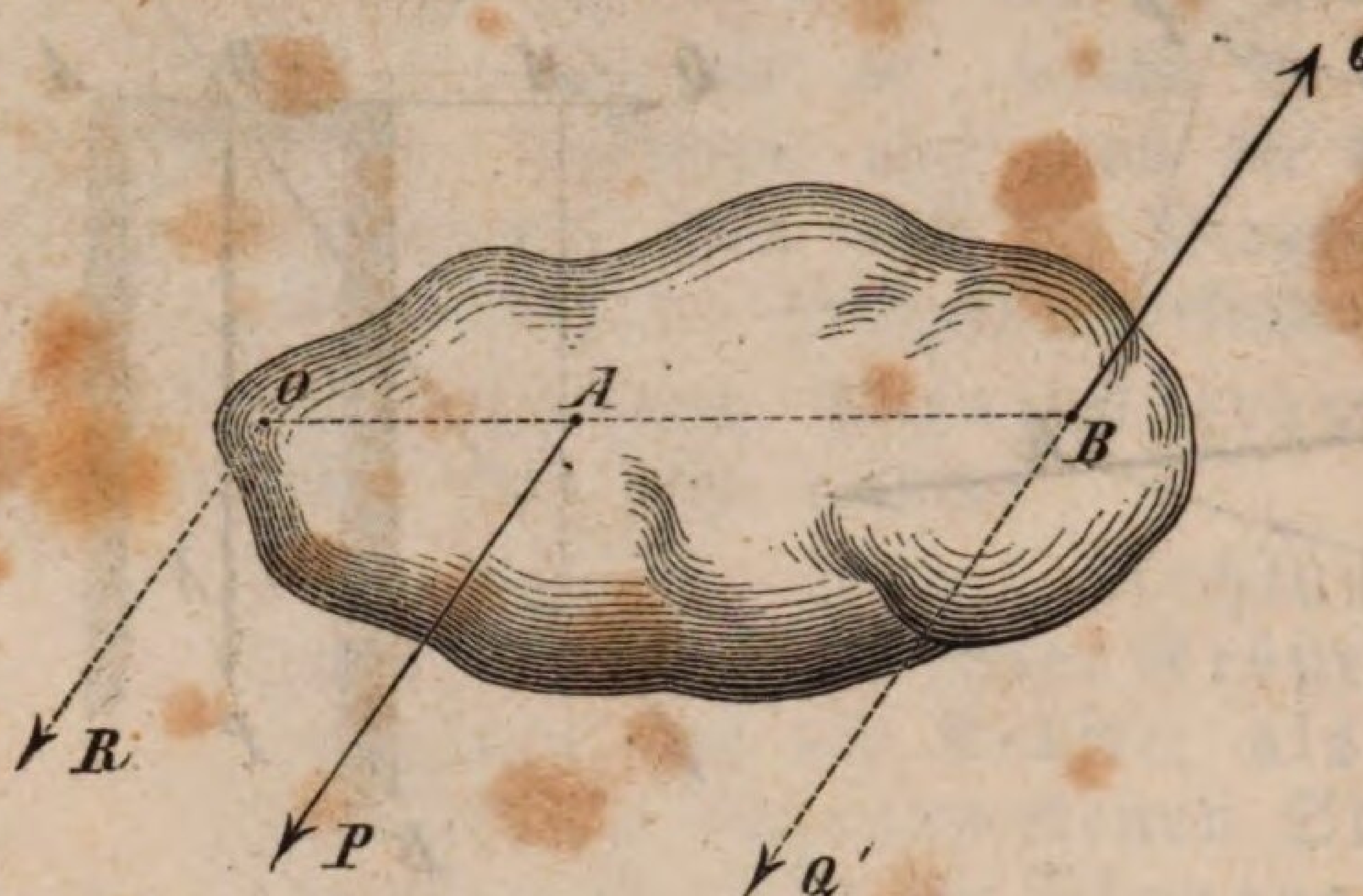
$$P \,.\, AC = Q \,.\, BC$$

sein muß. Denn ist *P* halb so groß, als *Q*, und umgekehrt *BC* halb so groß als *AC*, so ist *P* . *AC* gerade so groß, als *Q* . *BC*.

8) Wenn in *C*, Fig 18, eine Kraft *P* wirkt, und man fragt umgekehrt, welches ihre Seitenkräfte oder die Drücke in *A* und *B* sind, so ergibt sich leicht, daß der Druck in *A* sovielmal größer, als der Druck in *B* ist, sovielmal *AC* kleiner als *BC* ist. — Wäre z. B. $AC = 1$ und $BC = 2$, so hätte *A* $\frac{2}{3}$ *P* und *B* $\frac{1}{3}$ *P* zu tragen, was zusammen, wie es sein muß, die ganze Last *P* macht.

9) Wirken mehr als zwei parallele Kräfte an einem Körper, so kann man auch wieder zwei und zwei zusammensetzen, und kommt dann zuletzt auf eine einzige Mittelkraft.

Fig. 19.



Wirken die Kräfte entgegengesetzt, so erhält man ihre Mittlere, wenn man die Kräfte von einander abzieht.

Der Angriffspunkt der Mittlern *R* zweier entgegengesetzt wirkenden Kräfte fällt, wie Fig. 19 zeigt, über die größere Seitenkraft *P* hinaus. Man erhält den Angriffspunkt *O* der Mittlern so, daß man die größere Seitenkraft, hier *P*, in zwei Seitenkräfte zerlegt, wovon die eine $Q' = Q$ und die andere also $P - Q = R$ ist. Läßt man Q' entgegengesetzt von *Q* wirken, so heben sich beide auf und es muß die Kraft $P - Q = R$ links von *P* wirken. — Dabei muß immerhin $P \,.\, AO = Q \,.\, BO$ sein.

Zwei gleiche entgegengesetzt wirkende Kräfte haben keine Mittlere.

Fig. 20.

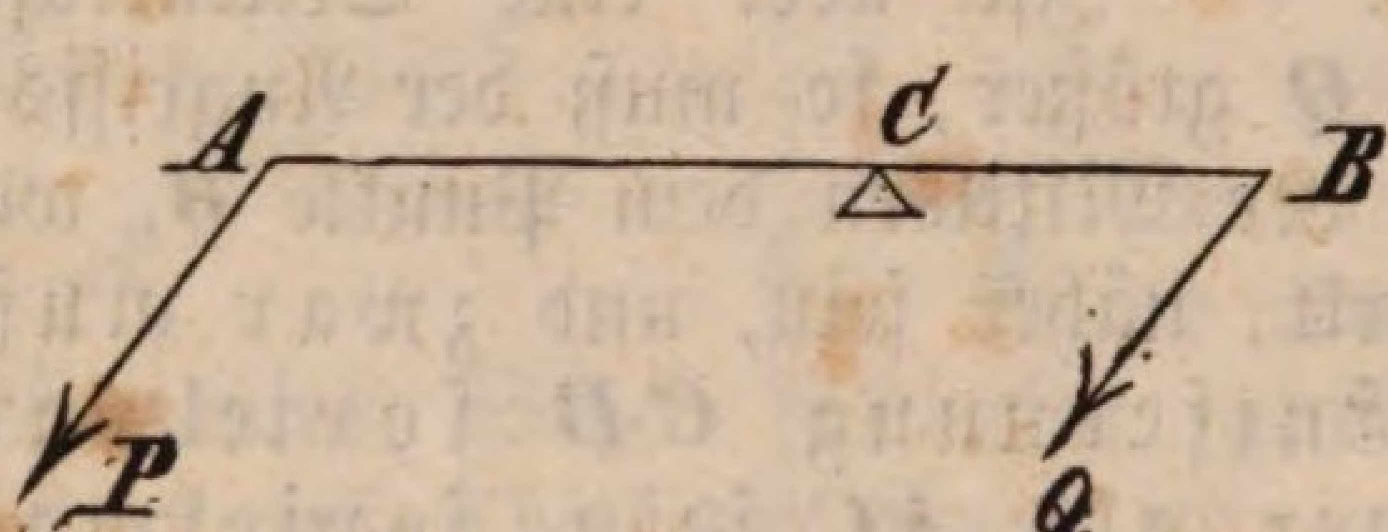
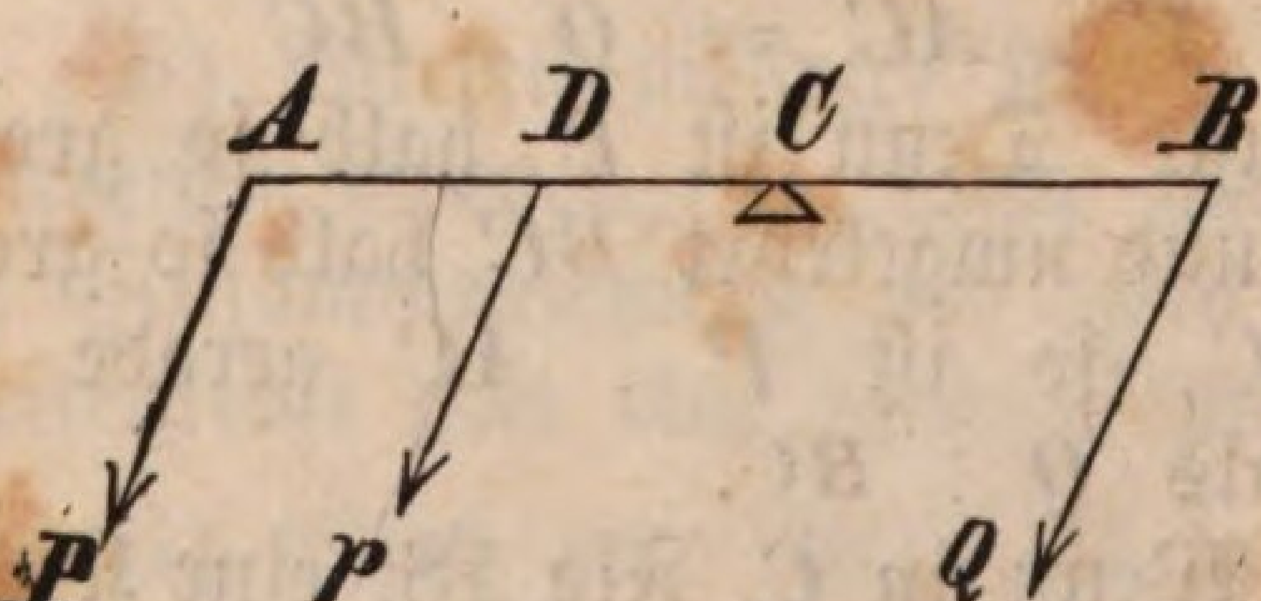


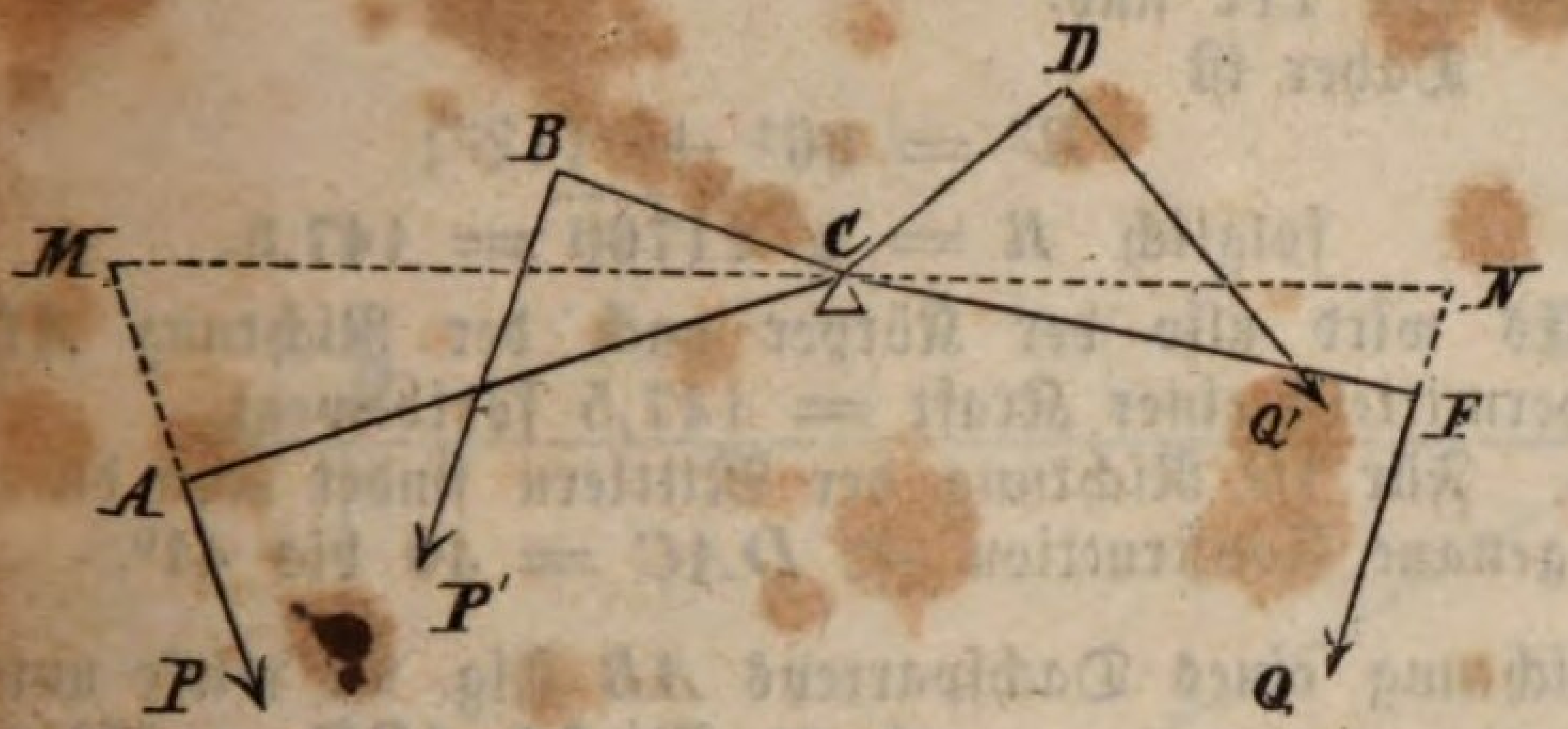
Fig. 21.



10) Statisches Moment. Bringt man in dem Angriffspunkt *C* der Mittlern zweier parallelen Kräfte eine Unterstützung wie in Fig. 20 an, so werden die beiden Kräfte *P* und *Q* im Gleichgewichte sein, d. h. ihr gegenseitiges Bestreben, eine Drehung um den Punkt *C* hervorzubringen, hebt sich auf. — Ebenso werden zwei Kräfte *P* und *p*, welche wie in Fig. 21 einerseits gegen eine Kraft *Q* anderseits wirken, mit dieser im Gleichgewicht sein, wenn die Summe der Produkte aus den Kräften einerseits in die Entfernungen ihrer Angriffspunkte vom Drehpunkt dem Produkt der entgegengesetzt wirkenden Kraft in ihre Entfernung vom nämlichen Punkt gleich sind.

Man nennt ein solches Produkt das statische oder Drehungsmoment einer Kraft, und es gilt allgemein der Satz, daß Kräfte im Gleichgewicht sind, wenn die Summe der statischen Momente der auf der einen Seite wirkenden Kräfte gleich ist der Summe der Momente der entgegengesetzt drehenden Kräfte. —

Fig. 22.



Hiebei mögen selbst die Kräfte in paralleler oder in anderer Richtung wirken, nur bildet man das fragliche Produkt (Moment) immer so, daß man die Kräfte mit den rechtwinkeligen Entfernungen ihrer Richtungslinien vom Drehpunkt multiplizirt.

So ist in Fig. 22 Gleichgewicht, wenn

$$P \,.\, AC + P_1 \,.\, BC = Q \,.\, FC + Q_1 \,.\, DC \text{ ist.}$$

Es folgt hieraus auch, daß die Wirkung einer Kraft in Bezug auf Drehung um einen Punkt nicht bloß von der Größe der Kraft, sondern auch von der Entfernung ihrer Richtungslinie vom Drehpunkt abhängt. Eine doppelte Entfernung verleiht darum der Kraft ebensowohl eine doppelte Wirkung, als wenn die Kraft selber die doppelte geworden wäre.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. An den Punkten *A*, *B*, *C* und *D* Fig. 23 einer geraden Linie wirken die Kräfte = 48 Pfd., 56 Pfd., 70 Pfd. und 112 Pfd. nach gleicher Richtung; man soll ihre Mittelkraft bestimmen.

Fig. 23.



Auflösung. Nach Satz 2 ist die Mittlere

$$R = 48 + 56 + 70 + 112 = 286 \text{ Pfd.}$$

2te Aufgabe. An einer geraden Linie wirken nach der einen Seite die Kräfte 36, 60, 48 und 90; nach der entgegengesetzten Seite die Kräfte 78, 50, 120 und 80; — nach welcher Seite bewegt sich der Körper, und wie groß ist die eigentliche bewegende Kraft?

Auflösung. Nach Satz 2 ist die Summe der nach einer Seite wirkenden Kräfte = 36 + 60 + 48 + 90 = 234 und die Summe der entgegengesetzt wirkenden = 78 + 50 + 120 + 80 = 328. Es ist folglich

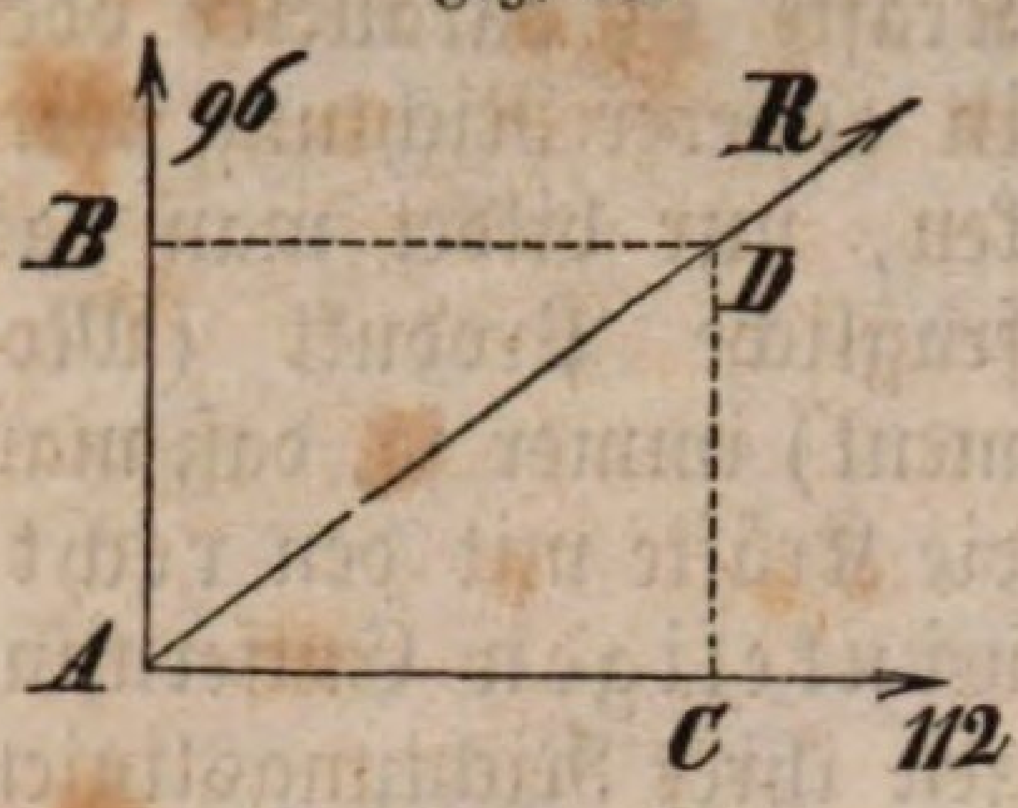
$$R = 328 - 234 = 94,$$

und der Körper bewegt sich nach der Richtung der Kräfte 78; 50; 120 und 80, deren Summe die größere ist.

3te Aufgabe. Auf einen Körper wirken unter einem rechten Winkel die Kräfte 96 und 112; man soll ihre Mittelkraft bestimmen.

Auflösung. Nach Satz 3 und 4 wird die Mittlere durch die Diagonale des Rechtecks *ACDB* Fig. 24 dargestellt, dessen Seiten 96 und 112 sind.

Fig. 24.



Daher ist

$$R^2 = 96^2 + 112^2;$$

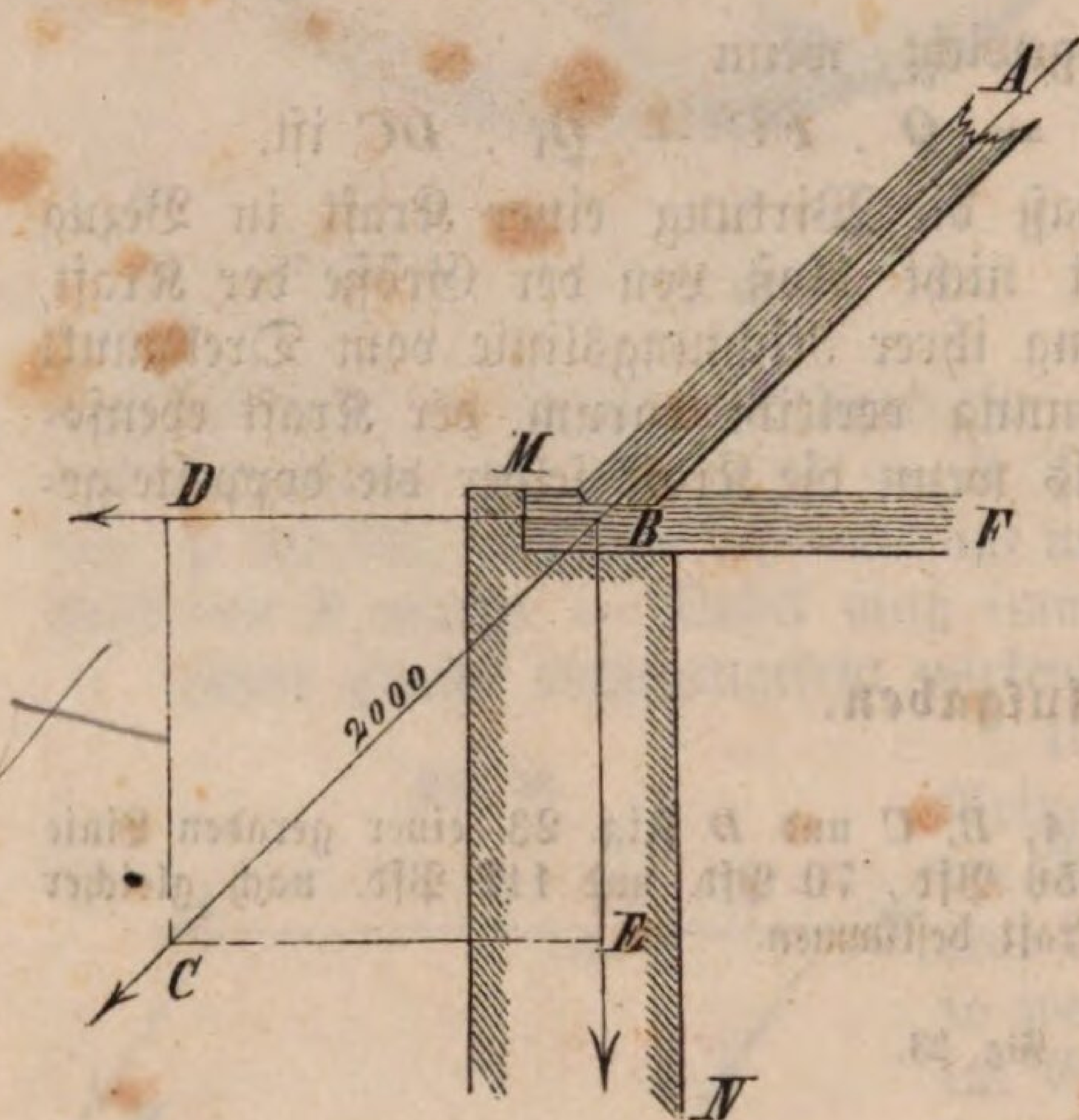
folglich $R = \sqrt{21760} = 147{,}5$.

Es wird also der Körper nach der Richtung *AD* vermittelst einer Kraft = 147,5 fortbewegt.

Für die Richtung der Mittlern findet man durch genaue Construction ∢ *DAC* = 40 bis 41⁰.

4te Aufgabe. Nach der Richtung eines Dachsparrens *AB* Fig. 25 wirke unter einem Winkel *ABF* = 45⁰ ein Druck von 2000 Pfd.; man soll den **Vertikaldruck** und **Horizontalschub**, welcher auf die Mauer *MN* hierdurch ausgeübt wird, berechnen.

Fig. 25.



Auflösung. In der Richtung des Druckes nehme man irgend eine Linie *BC* als die Mittelkraft 2000 an. Nach S. 6 ziehe man nun *CD* parallel zu *BE* vertikal, und *CE* parallel mit *BD* horizontal, so entsteht das Parallelogramm *BDCE*, in welchem die Seiten *BD* = *CE* den Horizontalschub, und *BE* = *DC* den Vertikaldruck im Punkte *B* angeben.

Es ist aber

$$\overline{BC}^2 = \overline{BD}^2 + \overline{DC}^2;$$

folgl. $2000^2 = \overline{BD}^2 + \overline{DC}^2$.

Da aber ∢ *ABF* = *DBC* = *CBE* = 45⁰ ist, so ist *DBEC* ein Quadrat,

folglich $DC = BD$, und

daher $2000^2 = 2 \cdot \overline{BD}^2$;

folglich $\overline{BD}^2 = \frac{2000^2}{2} = \frac{4000000}{2} = 2000000$;

also $BD = \sqrt{2000000} = 1414{,}2$ Pfd.

Somit sind in diesem Falle der vertikale Druck und der horizontale Schub gleich groß und zwar = 1414,2 Pfd.

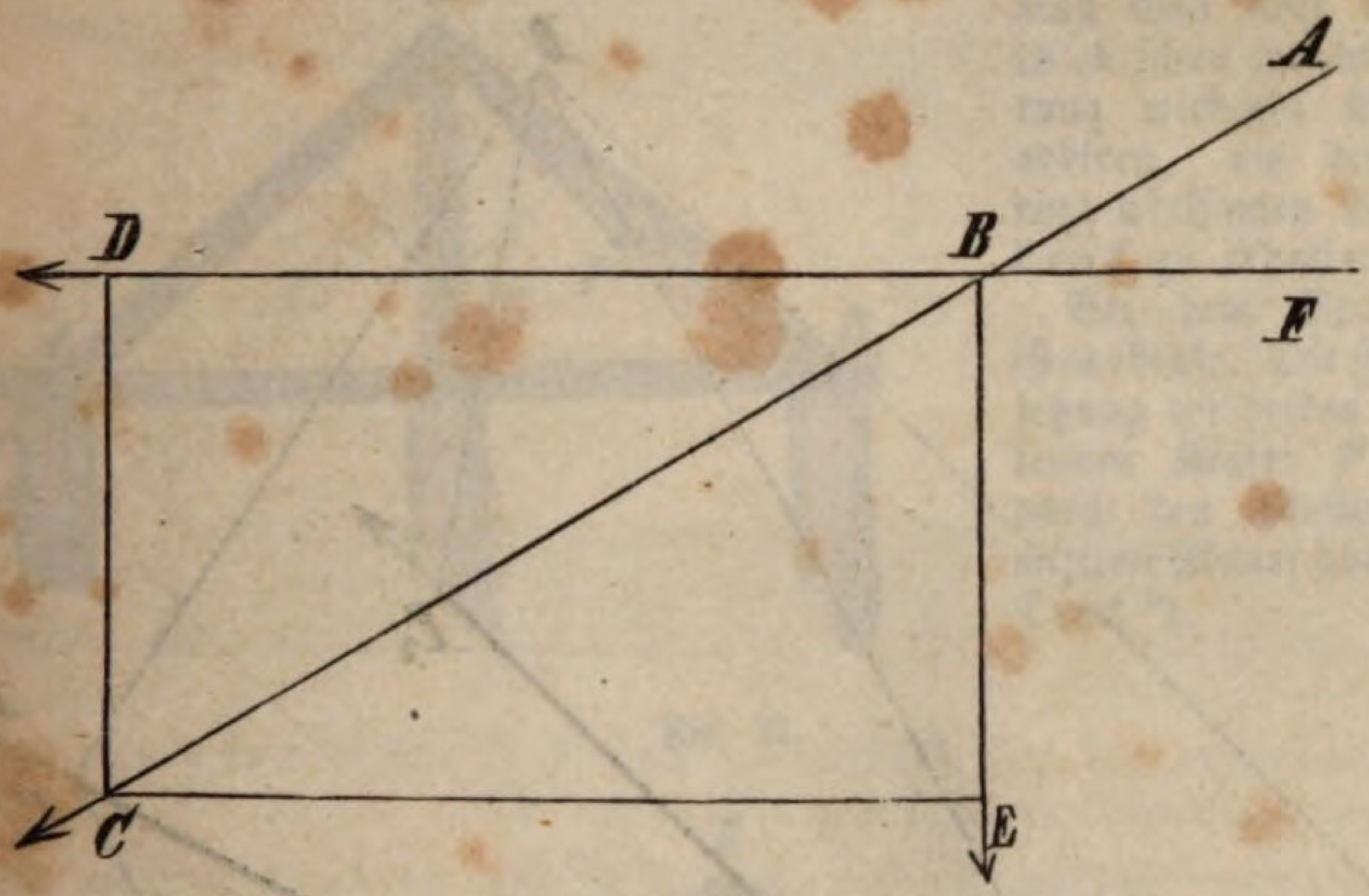
5te Aufgabe. Hätte im vorigen Beispiele der Sparren *AB* eine Neigung von 30⁰, so mache man in Fig. 26 ∢ *ABF* = 30⁰ und nehme für *BC* ein bestimmtes Maß z. B. 2 Zoll an, so wird alsdann durch 2 Zoll eine Kraft von 2000 Pfd., also durch 1 Zoll eine solche von 1000 Pfd. vorgestellt.

Construirt man nun, wie vorhin, das Rechteck *BDCE*, so darf man nur die Länge von *BD* und *BE* messen, um die Größe der Seitenkräfte zu erhalten.

Mißt z. B. *BD* 1,73 Zoll, so ist der Horizontalschub
= 1,73 . 1000 = 1730 Pfd.

Ist *BE* stark 1 Zoll groß, so beträgt der Vertikaldruck Weniges über 1000 Pfd., weil 1000 Pfd. Kraft durch 1 Zoll dargestellt wird.

Fig. 26.



Man kann aber auch den Vertikaldruck durch Rechnung finden, sobald der Horizontalschub bekannt ist.

Denn es ist $BE = \sqrt{\overline{BC}^2 - \overline{BD}^2}$;
folglich $BE = \sqrt{2000^2 - 1730^2} = \sqrt{1007100}$;
d. i. $BE = 1003$ Pfd.

6te Aufgabe. Wenn drei Kräfte $P_1 = 30$ Pfd., $P_2 = 70$ Pfd. und $P_3 = 50$ Pfd., die sämmtlich in einer Ebene wirken, eine Last fortzubewegen suchen, welches ist die Größe und Richtung ihrer Mittelkraft, wenn der Winkel zwischen P_1 und $P_2 = 56^0$, und der Winkel zwischen P_2 und $P_3 = 104^0$ ist?

Auflösung. Gemäß S. 5, mache man in Fig. 27, s. folg. S., $\sphericalangle P_1 AP_2 = 56^0$ und $\sphericalangle P_2 AP_3 = 104^0$; alsdann trage man auf den Richtungslinien der Kräfte verhältnißmäßige Stücke ab, nehme z. B. — da es hier der Raum nicht anders erlaubt — für 3 Pfd. Kraft eine Länge = 1 Linie an; dadurch wird $AP_1 = 10$ Linien; $AP_2 = 23^1/_3$ Linien, und $AP_3 = 16^2/_3$ Linien.

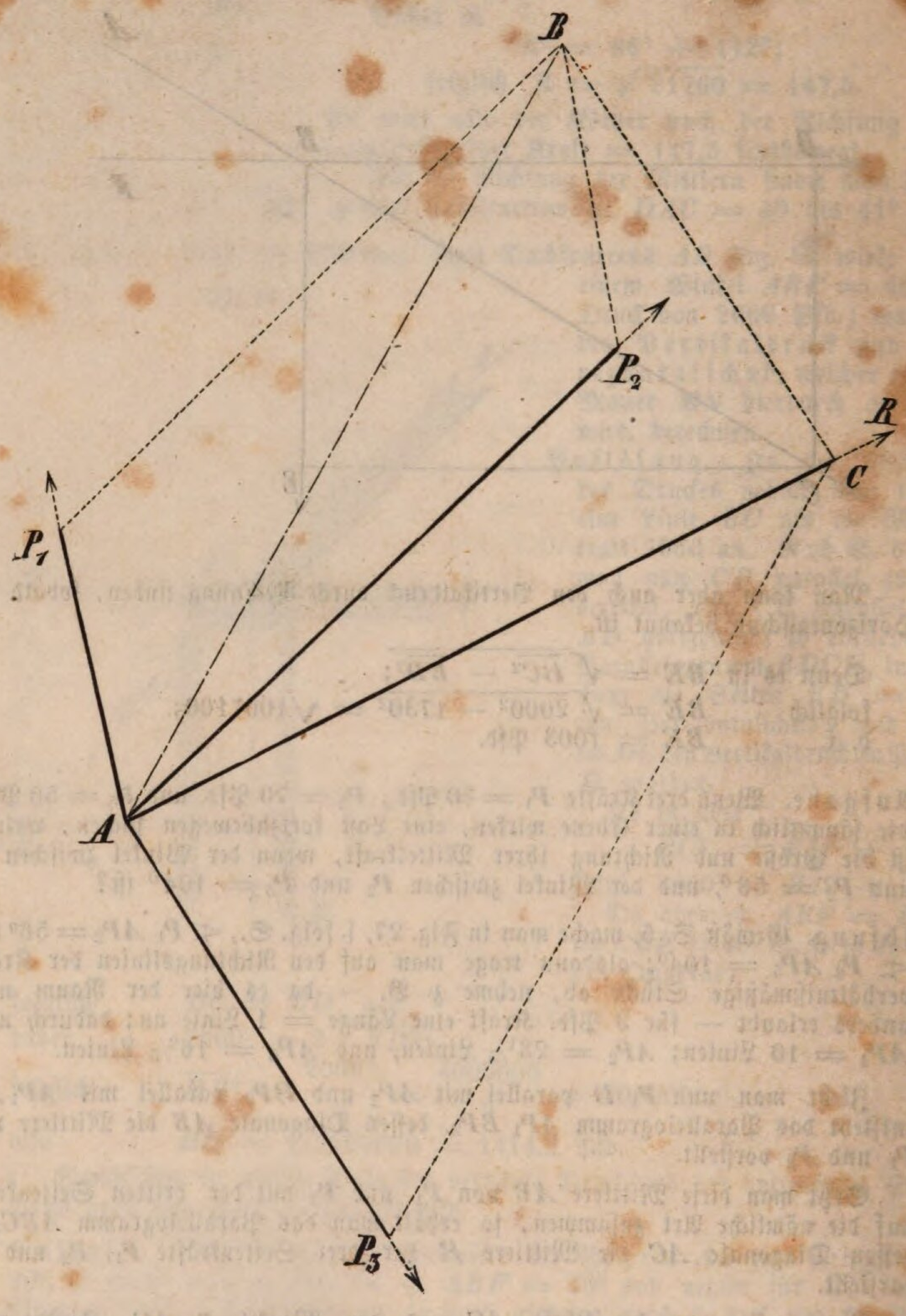
Zieht man nun $P_1 B$ parallel mit AP_2 und BP_2 parallel mit AP_1, so entsteht das Parallelogramm $AP_1 BP_2$, dessen Diagonale AB die Mittlere von P_1 und P_2 vorstellt.

Setzt man diese Mittlere AB von P_1 und P_2 mit der dritten Seitenkraft auf die nämliche Art zusammen, so erhält man das Parallelogramm $ABCP_3$, dessen Diagonale AC die Mittlere R der drei Seitenkräfte P_1, P_2 und P_3 darstellt.

Nun messe man die Linie AC und den Winkel $P_1 AC$. Findet man $AC = 26^1/_3$ Linie, und den Winkel $P_1 AC = 73^1/_3{}^0$, so folgt hieraus, daß die Mittelkraft $R = 3 \,.\, 26^1/_3 = 79$ Pfd. ist, und daß ihre Richtungslinie von der Richtungslinie der Kraft P_1 um einen Winkel von $73^1/_3$ Grad abweicht.

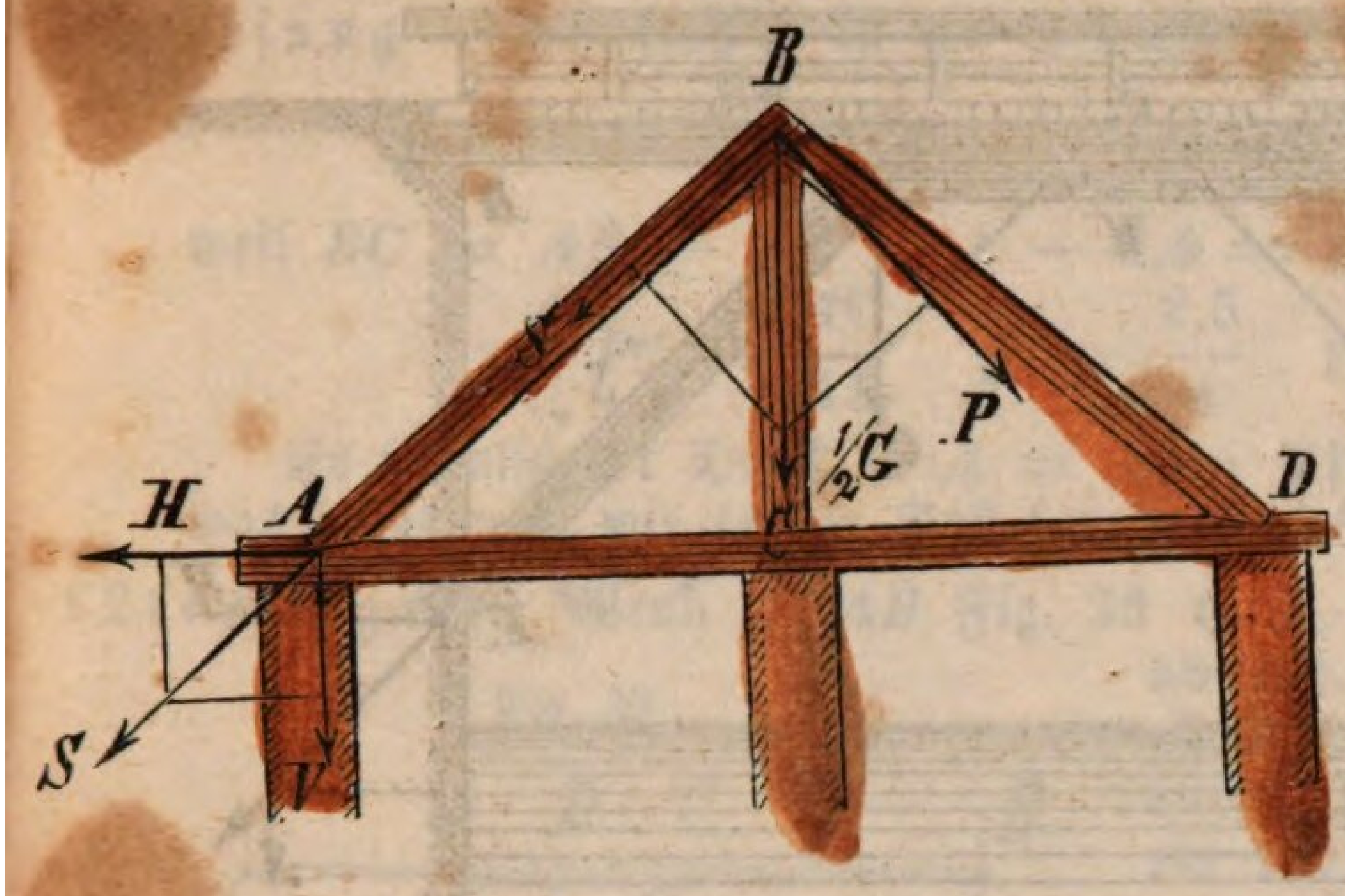
7te Aufgabe. Wenn in Fig. 28 die Belastung eines Sparrens $= G$ ist, welches sind die in A, B, C, D wirkenden Kräfte?

Fig. 27.



Auflösung. Durch Zerlegung erhält man in A und B zwei vertikal wirkende Kräfte, wovon jede $= \frac{1}{2} G$ ist. Stützt sich das obere Sparrenende einfach auf den Pfosten, so zerlege man, wie die Figur zeigt, die in B wirkende Kraft $\frac{1}{2} G$ nach rechtwinkeliger Richtung in die Seitenkräfte S und P. Die in der Sparreneinrichtung wirkende Kraft S zerlege man dann in A nach horizontaler und vertikaler Richtung. Man erhält alsdann als **Horizontalschub**

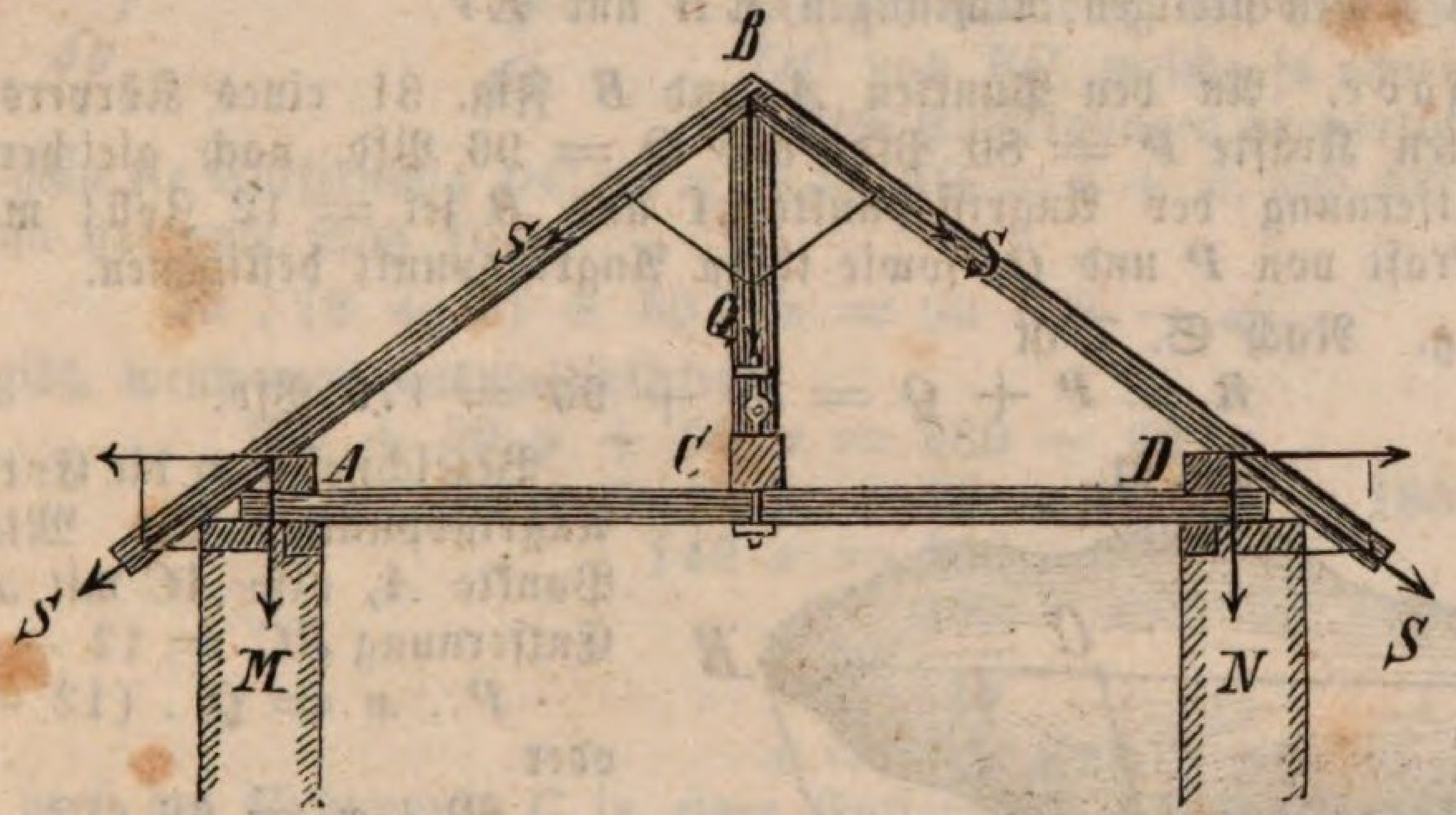
Fig. 28.



die durch *AH* ausgedrückte Kraft. Zu dem durch *'AV* ausgedrückten Vertikaldruck muß man aber die bereits in *A* schon in gleicher Richtung wirkende Kraft $\frac{1}{2}G$ addiren, um den ganzen, dort wirksamen Vertikaldruck zu erhalten.

Bei dem Sparren *BD* istes ebenso. Die Zusammensetzung der beiden in *B* wirkenden Kräfte *P* gibt den durch den Pfosten auf die mittlere Mauer übertragenen Druck *).

Fig. 29.



8te Aufgabe. Man soll die Zerlegung und Zusammensetzung der Kräfte für das Hängwerk Fig. 29 machen.

Auflösung. Ist der Tragbalken *AD* gleichbelastet und die Hängsäule *BC* in der Mitte angebracht, so nimmt diese die Hälfte der ganzen Belastung des Balkens auf, während die beiden Mauern *M* und *N* die andere Hälfte tragen. Die von der Hängsäule aufgenommene Last zerlege man nach der Sparrenrichtung in die Seitenkräfte *S*. Diese zerlege man wieder in den Punkten *A* und *D* ganz wie in voriger Aufgabe und addire zu den so erhaltenen Seitendrücken die bereits dort schon wirksamen Kräfte.

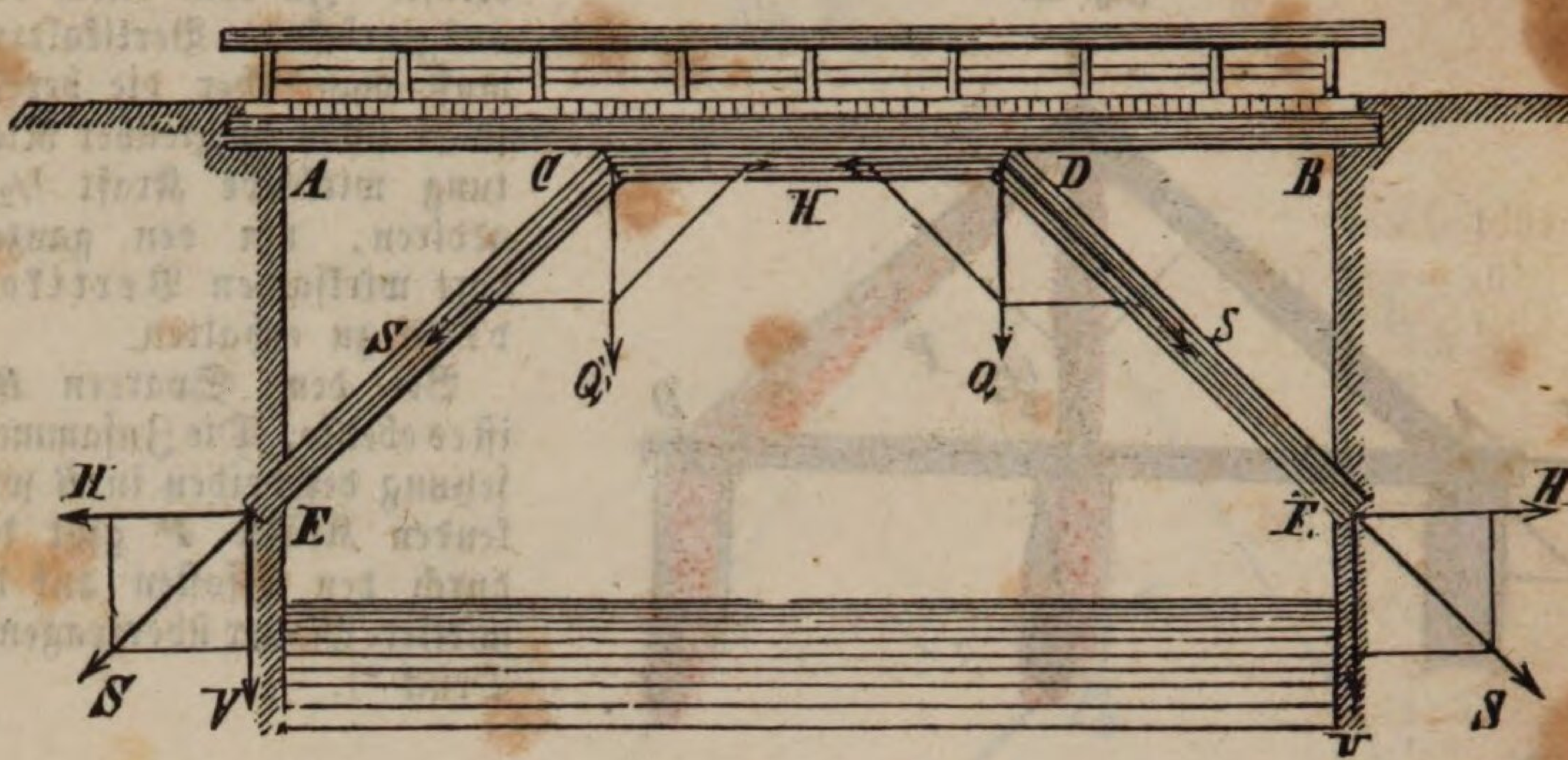
9te Aufgabe. Wie ist die Zerlegung für das Sprengwerk Fig. 30 zu machen?

Auflösung. Ist $AC = CD = DB$, so sind die Drücke *Q* in *C* und *D* je $\frac{1}{3}$ der Belastung des Tragbalkens *AB*, während solche in *A* und *B* je $\frac{1}{6}$ betragen. Man zerlege *Q* nach den angegebenen Richtungen; die erhaltenen Spannungen in dem Spannriegel *CD* heben sich auf. Die Spannung *S* in

---

*) Die gesammte Belastung eines Daches, mit Schnee ꝛc., beträgt etwa 30 Pfd. per 1 □ Fuß; die größte Belastung einer Brücke (ein Menschengedränge) $\frac{1}{2}$ Centner per □ Fuß.

Fig. 30.



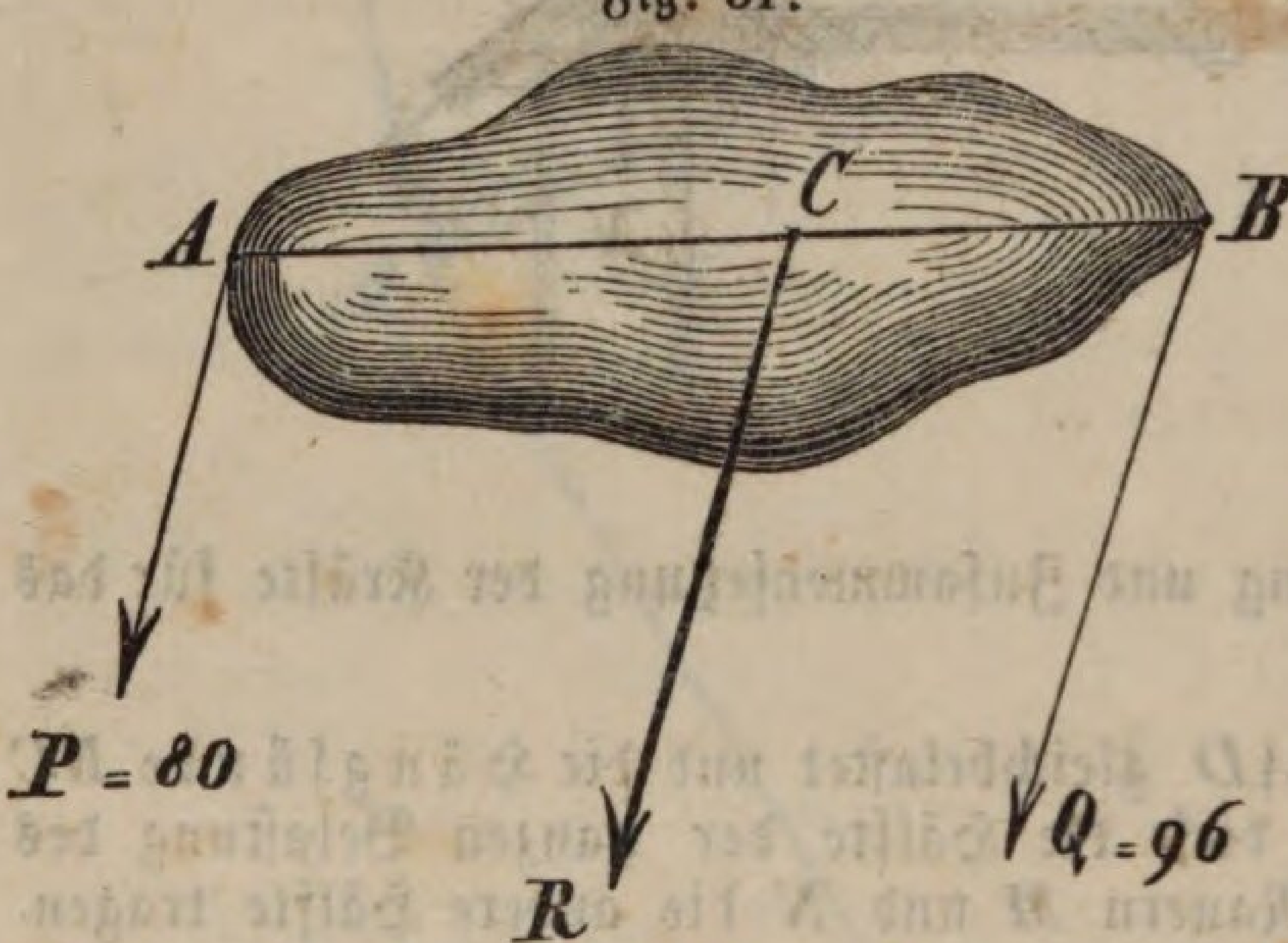
den Streben CE und DF zerlege man in E und F wieder nach den angegebenen rechtwinkeligen Richtungen EH und EV.

10te Aufgabe. An den Punkten A und B Fig. 31 eines Körpers wirken die parallelen Kräfte $P = 80$ Pfd. und $Q = 96$ Pfd. nach gleicher Richtung; die Entfernung der Angriffspunkte A und B sei $= 12$ Zoll; man soll die Mittelkraft von P und Q, sowie ihren Angriffspunkt bestimmen.

Auflösung. Nach S. 7 ist

$$R = P + Q = 80 + 96 = 176 \text{ Pfd.}$$

Fig. 31.



Bezeichnet man die Entfernung des Angriffspunktes der Mittlern vom Punkte A, also AC mit x, so ist die Entfernung $BC = 12 - x$; folglich

$$P \,.\, x = Q \,.\, (12 - x);$$

oder

$$80 \,.\, x = 96\ (12 - x);$$

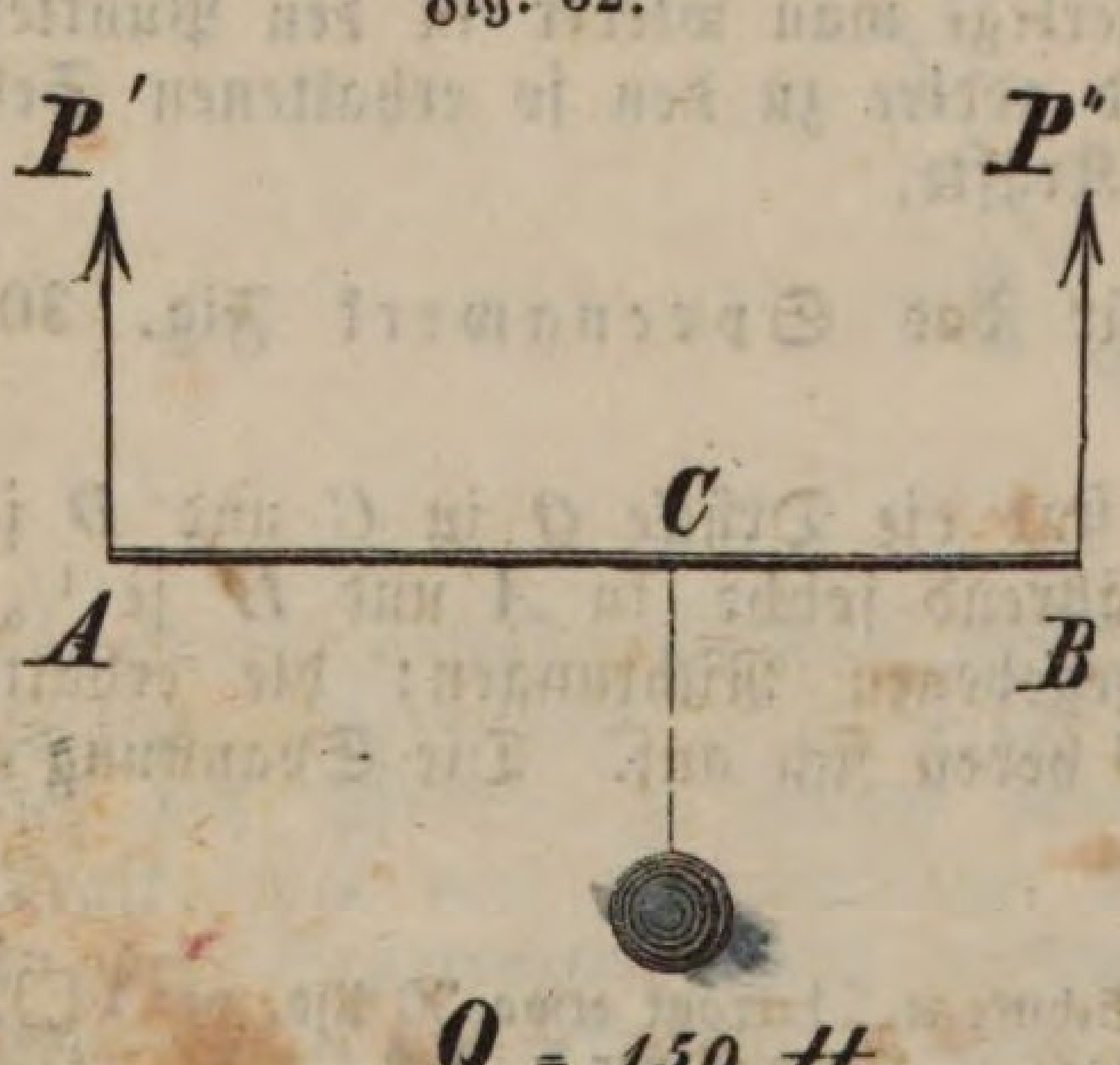
d. i., wenn mit 96 multiplicirt wird,

$$80\ x = 1152 - 96\ x;$$
$$80\ x + 96\ x = 1152$$
$$176\ x = 1152;$$
$$x = \frac{1152}{176};$$

daher $x = 6{,}55$ Zoll.

Soll also eine Kraft R die nämliche Bewegung hervorbringen, wie die in A und B wirkenden Kräfte von 80 Pfd. und 96 Pfd., so muß diese Kraft $R = 176$ Pfd. sein, und in einem Punkte C wirken, welcher 6,55 Zoll von A oder 5,45 Zoll von B entfernt ist.

Fig. 32.



11te Aufgabe. Wenn in C Fig. 32 eine Last $Q = 150$ Pfd. abwärts zieht, wie groß sind die in A und B wirkenden Drücke, oder mit welchen Kräften P' und P'' muß die Stange AB zurückgehalten werden, wenn die Entfernung AB der Angriffspunkte $= 4'$ und AC

= 2,5' beträgt, und wenn das Gewicht der Stange außer Acht gelassen wird?

Auflösung. Nach Satz 8 ist die Seitenkraft

$$P' = \frac{BC}{AB} \cdot Q = \frac{1,5}{4} \cdot 150 = 56^1/_4 \text{ Pfd.},$$

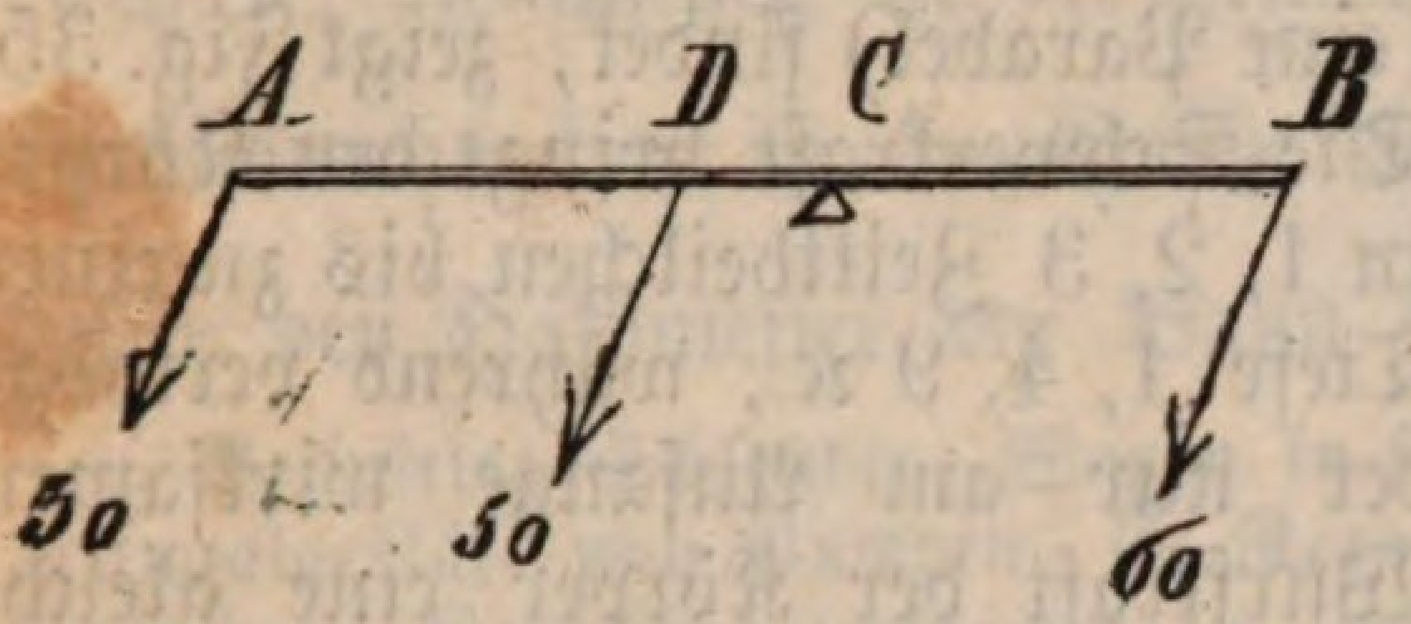
weil $BC = AB - AC = 4 - 2,5 = 1,5'$ ist;

$$\text{und } P'' = \frac{AC}{AB} \cdot Q = \frac{2,5}{4} \cdot 150 = 93^3/_4 \text{ Pfd.}$$

Es ist also der Druck in $A = 56^1/_4$ Pfd., und der in $B = 93^3/_4$ Pfd., was zusammen, wie es der Fall sein muß, 150 Pfd. gibt.

12te Aufgabe. Wenn an AB Fig. 33 in A, D und B Kräfte von 30 Pfd., 50 Pfd. und 60 Pfd. nach paralleler und gleicher Richtung wirken, wo muß AB unterstützt werden, wenn keine Drehung um den Stützpunkt C erfolgen soll, und wenn $AD = 6'$ und $BD = 8'$ beträgt?

Fig. 33.



Auflösung. Bei parallelen Kräften multiplicirt man diese mit den Abständen AC, DC und BC, welche ja ohnehin den senkrechten Entfernungen proportional sind. — Nennt man die Entfernung $DC = x$, so ist $AC = 6 + x$, und $BC = 8 - x$, und man hat nach Satz 10

$$30 \,.\, (6 + x) + 50 \cdot x = 60 \,.\, (8 - x).$$

Dies gibt, wenn man ausmultiplicirt,

$$180 + 30\,x + 50\,x = 480 - 60\,x$$

d. i. $$30\,x + 50\,x + 60\,x = 480 - 180$$

$$140\,x = 300$$

$$x = \frac{300}{140}$$

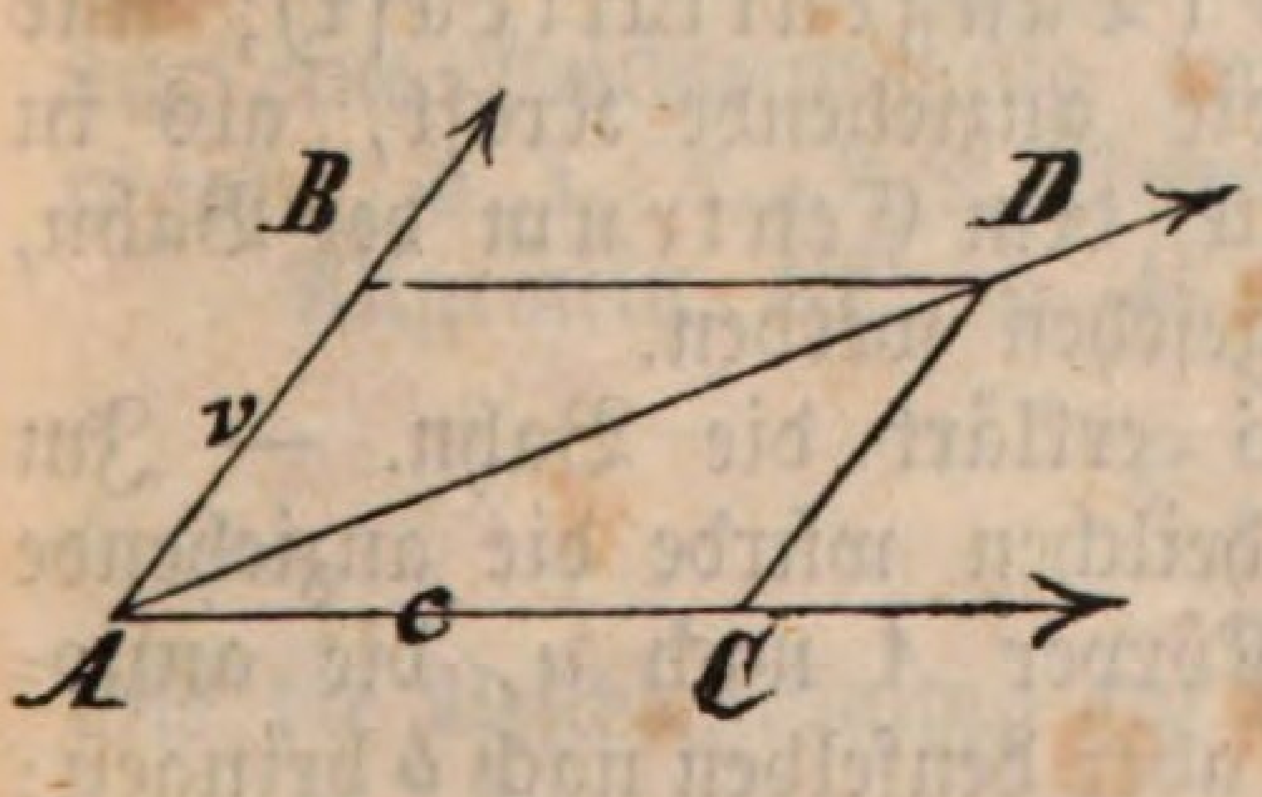
$$x = 2^1/_7 \text{ Fuß.}$$

Somit muß der Stützpunkt C in einer Entfernung $AD + DC = 6 + 2^1/_7 = 8^1/_7$ Fuß, von A aus gerechnet, sich befinden. Der Punkt C ist zugleich auch der Angriffspunkt der Mittelkraft der genannten drei Kräfte.

b. Zusammensetzung und Zerlegung der Bewegungen.

1) Bewegt sich ein Körper mit einer Geschwindigkeit von 6 Fuß und erhält noch eine neue Geschwindigkeit von 4 Fuß, so muß sich der Körper alsdann mit einer Geschwindigkeit von 10 Fuß in seiner bisherigen Richtung bewegen. — Würde man aber dem Körper die Geschwindigkeit von 4 Fuß in entgegengesetzter Richtung beibringen, so bliebe ihm nur eine eigentliche Geschwindigkeit $= 6 - 4 = 2'$, und zwar in der ursprünglichen Bewegungsrichtung.

Fig. 34.



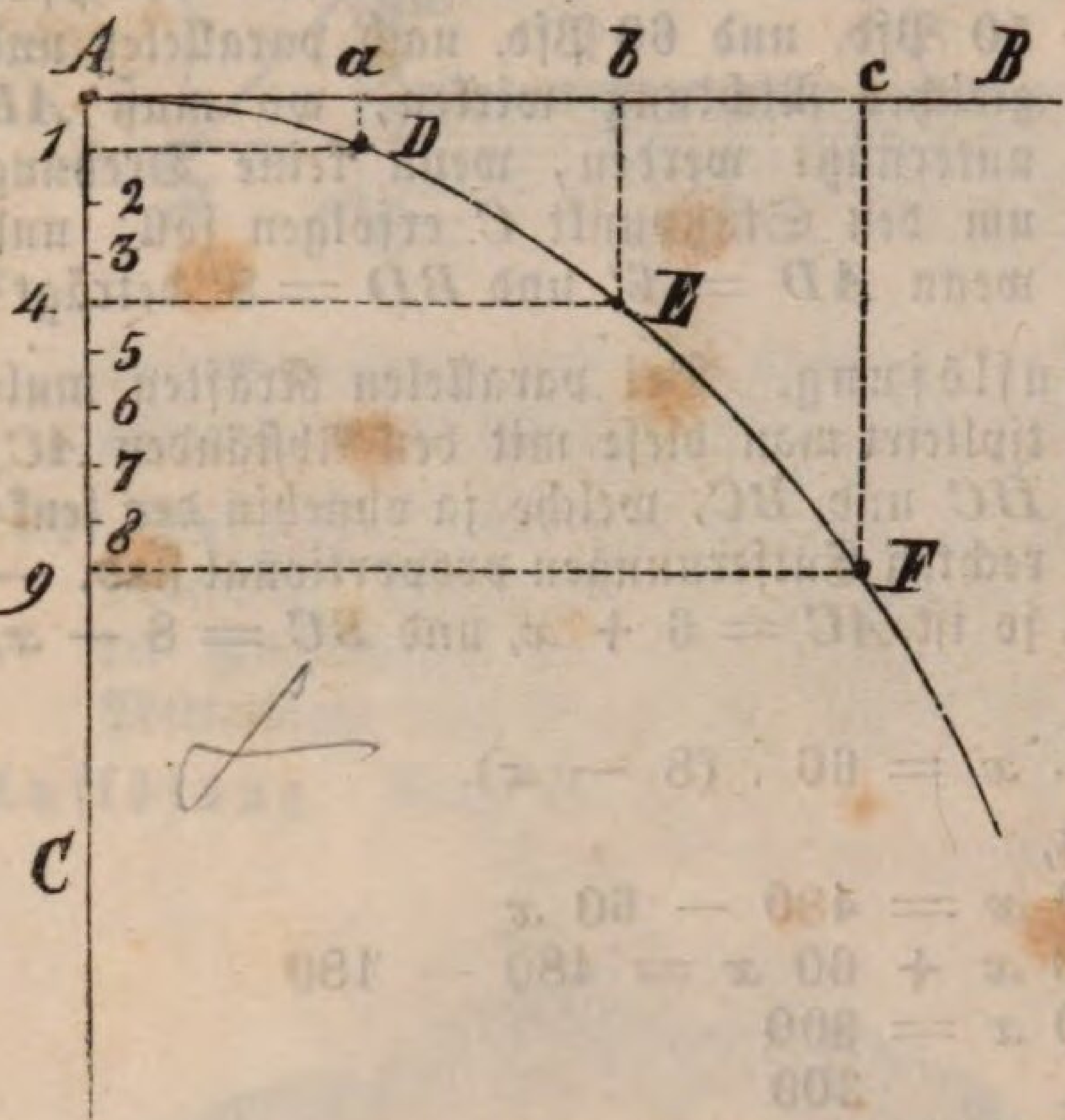
Würden aber die beiden ertheilten Bewegungsrichtungen einen Winkel bilden, wie in Fig. 34, so gibt wieder die Diagonale AD des Parallelogramms

ABDC die Größe und Richtung der resultirenden oder mittlern Geschwindigkeit an. — Hiebei müssen aber die beiden Seitenbewegungen von gleicher Art sein. Würde die eine Seitenbewegung gleichförmig und die andere ungleichförmig sein, so würde die Bewegung des Körpers in einer krummen Bahn (Curve) erfolgen.

Beisp. Bewegung auf Schiffen. Gebrauch der Ruder und Segel.

2) Wurfbewegung. Diese ist eine krummlinige, da die eine Kraft (Schwerkraft) beständig, also beschleunigend, die andere Kraft (Wurfkraft) aber nur vorübergehend auf den Körper einwirkt.

Fig. 35.



Wie man die durchlaufene Bahn (eine Parabel) findet, zeigt Fig. 35. Die Schwerkraft bringt den Körper in 1, 2, 3 Zeittheilchen bis zu einer Tiefe 1, 4, 9 2c., während vermöge der nur am Anfange wirksamen Wurfkraft der Körper eine gleichförmige Bewegung machen und in obigen Zeiten nach *a*, *b*, *c* u. s. w. gelangen würde. Construirt man die entsprechenden Parallelogramme, so erhält man die Orte *D*, *E*, *F* 2c., in denen sich der Körper in den Zeiten 1, 2, 3 2c. befinden muß.

Anwendung in der Artillerie. Einfluß des Luftwiderstandes. — Größte Wurfweite, wenn der Körper unter einem halben rechten Winkel gegen den Horizont abgeworfen wird.

3) Centralbewegung. Ist die krummlinige Bahn eine solche, daß der dieselbe durchlaufende Körper den anziehenden Körper umkreist — wie der Mond die Erde 2c. — so nennt man die Bewegung eine Centralbewegung. Es verhält sich mit solcher, wie mit der Wurfbewegung, sie erfolgt auch durch eine beständige, anziehende (Centripetalkraft) und eine vorübergehend wirksame, anstoßende Kraft (Tangentialkraft); nur muß jetzt die anziehende Kraft, als in einem Punkte, dem Centrum der Bahn, wirkend angesehen werden.

Fig. 36.

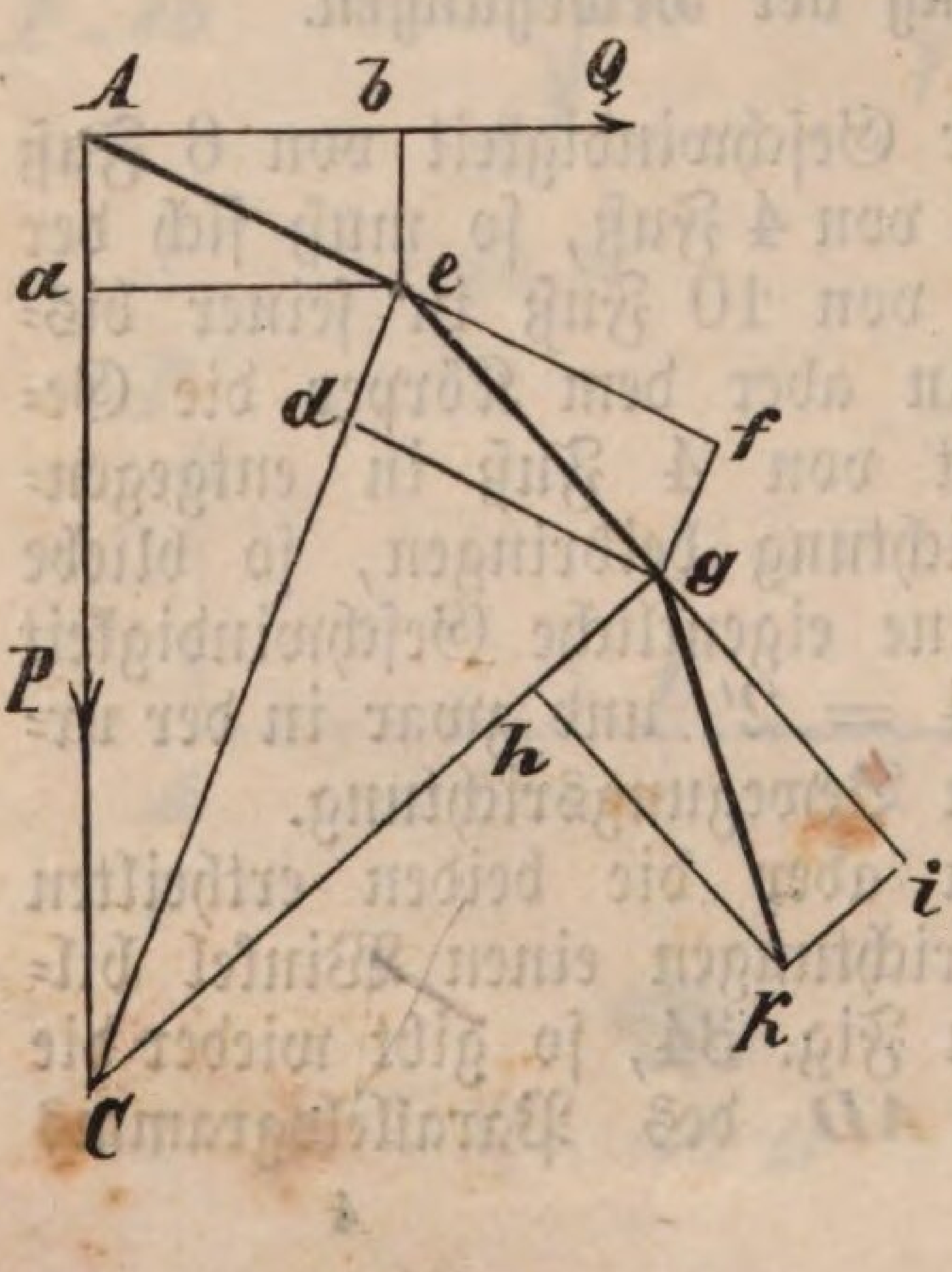


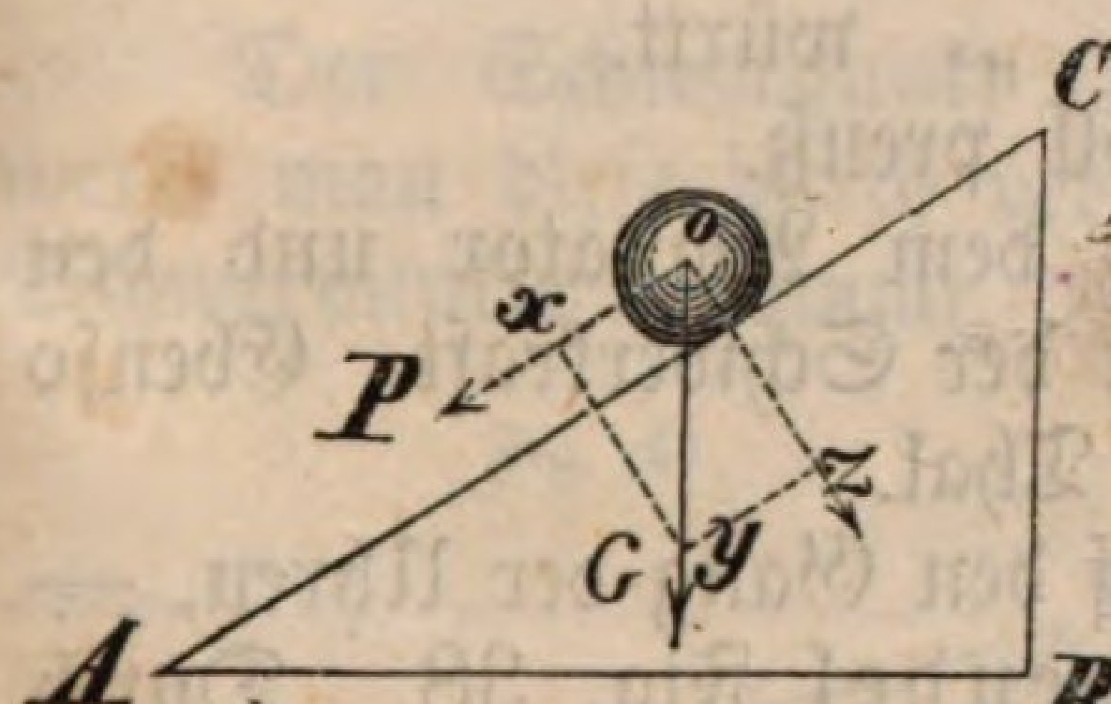
Fig. 36 erklärt die Bahn. — Im ersten Zeittheilchen würde die anziehende Kraft den Körper *A* nach *a*, die anstoßende Kraft aber denselben nach *b* bringen;

der Körper kommt also nach *e*. Sich überlassen würde der Körper in zwei Zeittheilchen in der Richtung *Ae* um ein gleiches Stück *ef* sich fortbewegen, die Centripetalkraft lenkt ihn aber ab um ein Stück *ed* = *Aa*; der Körper kommt also nach *g* u. s. w.

Aus der rotirenden Bewegung des Körpers erwächst ein Bestreben, sich vom Centrum zu entfernen, d. i. ein der anziehenden Kraft entgegengesetzter Zug nach außen. Die Kraft, mit der sich dieses Bestreben geltend macht, nennt man die Centrifugal- oder Fliehkraft, und es ist deren Wirkung um so größer, je größer die Masse und die Geschwindigkeit des rotirenden Körpers ist, und zwar ist bei doppelter Masse diese Kraft auch doppelt, bei doppelter Geschwindigkeit aber vierfach ꝛc. Hingegen ist die Centrifugalkraft um so kleiner, je größer der Bahndurchmesser ist. — Größe der Centrifugalkraft $P = \frac{G \,.\, V^2}{r \,.\, g}$, wobei *r* der Halbmesser der Bahn ist. —

Beispiele: Schleuder, Wagen in Krümmungen fahrend ꝛc. Anwendungen: Centrifugalgebläse und Pumpen, C. Regulator, C. Trockenmaschine, Fruchtreinigungsmaschine. Centrifugalextractor in Zuckerfabriken. Centrifugalguß von Reifen für Eisenbahnräder ꝛc. Einfluß der Umdrehung der Erde auf das Gewicht der Körper. Abplattung der Erde, eine Folge der Umdrehung.

Fig. 37.



4) Bewegung auf der schiefen Ebene. Befindet sich auf einer sog. schiefen Ebene *AC* Fig. 37 ein Körper vom Gewicht *G*, so ist die Kraft, welche ihn in der gegebenen Richtung *CA* in Beschleunigung versetzt, nur ein Theil des Gewichtes *G*. — Zerlegt man die vertikale Kraft *G* in die rechtwinkeligen Seitenkräfte *ox* und *oz*, so stellt *ox* die Kraft vor, welche den Körper in der Richtung *CA* bewegt, während *oz* den Druck vorstellt, welchen der Körper auf die Ebene *AC* und zwar in rechtwinkeliger Richtung ausübt. Die erstere Kraft *ox* = *P* ist aber nun, wie sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke *oxy* und *ABC* ergibt, gerade der sovielte Theil des Gewichts *oy* = *G*, als *BC* in *AC* enthalten ist. Hätte z. B. die schiefe Ebene $^1/_{10}$ Steigung, d. i. wäre *AC* = 10 und *BC* = 1, so wäre *ox* = $^1/_{10}$ *oy*; also *P* = $^1/_{10}$ *G*.

Daraus und aus Früherm folgt, daß der Körper *o* auf der Bahn nur eine Beschleunigung annehmen kann, welche $^1/_{10}$ der Fallbeschleunigung, d. i. $^1/_{10}$ 9,8 Meter ꝛc. beträgt.

Allgemein *BC* = *h* und *AC* = *l* gesetzt, ist also

$$P = \frac{h}{l}\, G,$$

und die Beschleunigung auf der schiefen Ebene $= \frac{h}{l}\, g.$

Ein fallender Körper legt daher auf der schiefen Ebene bloß einen Weg zurück, der so groß, als die Höhe $BC = h$ ist, während er in der nämlichen Zeit lothrecht durch eine Linie, die so lang, als $AC = l$ ist, fallen würde.
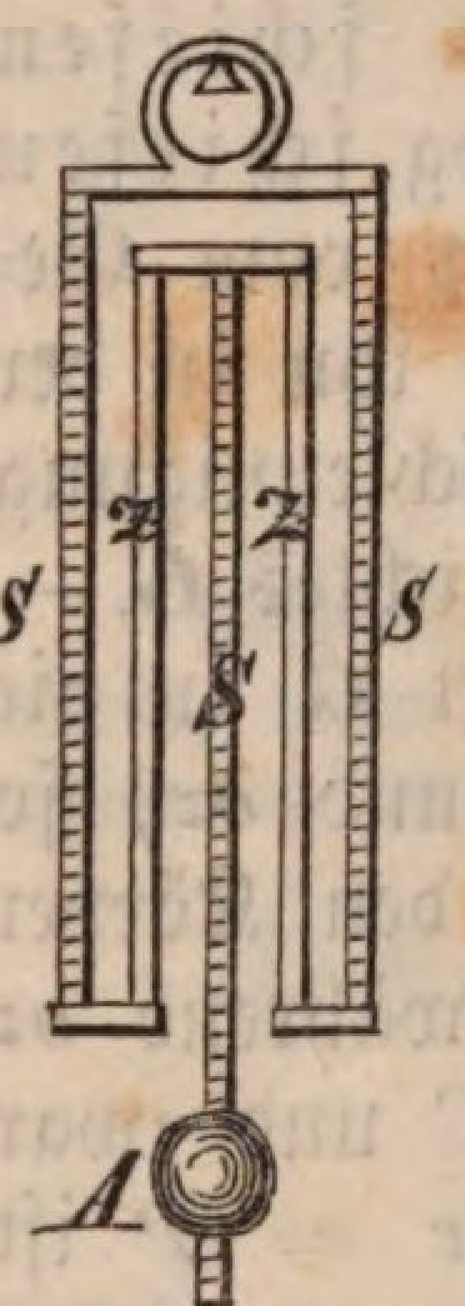
Fällt aber ein Körper durch die Linie CA nach A und ein anderer von C nach B, so haben beide in A und B gleiche Geschwindigkeiten erreicht.

5) Pendelbewegung. Dieselbe ist ebenfalls ein Beispiel einer zusammengesetzten Bewegung. — Hier sei nur des Verhältnisses zwischen der Schwingungsdauer und der Länge eines Pendels gedacht.

Ein Pendel geht um so langsamer, je länger es ist, und zwar geht ein 4mal, 9mal, 16mal ꝛc. längeres sogen. einfaches Pendel 2mal, 3mal, 4mal ꝛc. langsamer, d. h. es macht in der nämlichen Zeit 2mal, 3mal, 4mal ꝛc. weniger Schwingungen.

Auf die Dauer einer Schwingung hat darum nur die Pendellänge Einfluß, und zwar ist die Zeit zu einer einfachen Schwingung $t = \pi \sqrt{\frac{r}{g}}$, wobei r die Pendellänge ist.

Fig. 38.



Hieraus ergibt sich die Länge des Sekundenpendels

r = 0,9939 Meter = 33,13 Zoll bad.
= 34,75 „ württ.
= 38 Zoll preuß.

Verschiedene Längen unter dem Aequator und den Polen wegen der Verschiedenheit der Schwerkraft. Ebenso auf bedeutenden Höhen und im Thal.

Einfluß der Pendellänge auf den Gang der Uhren. — Compensations- oder Rostpendel Fig. 38. Durch die Ausdehnung der Stahlstangen S, S, S senkt sich die Pendelscheibe A, durch die Verlängerung der Zinkstangen Z, Z aber wird die Scheibe wieder gehoben, — die Ausdehnungen gleichen sich also aus.

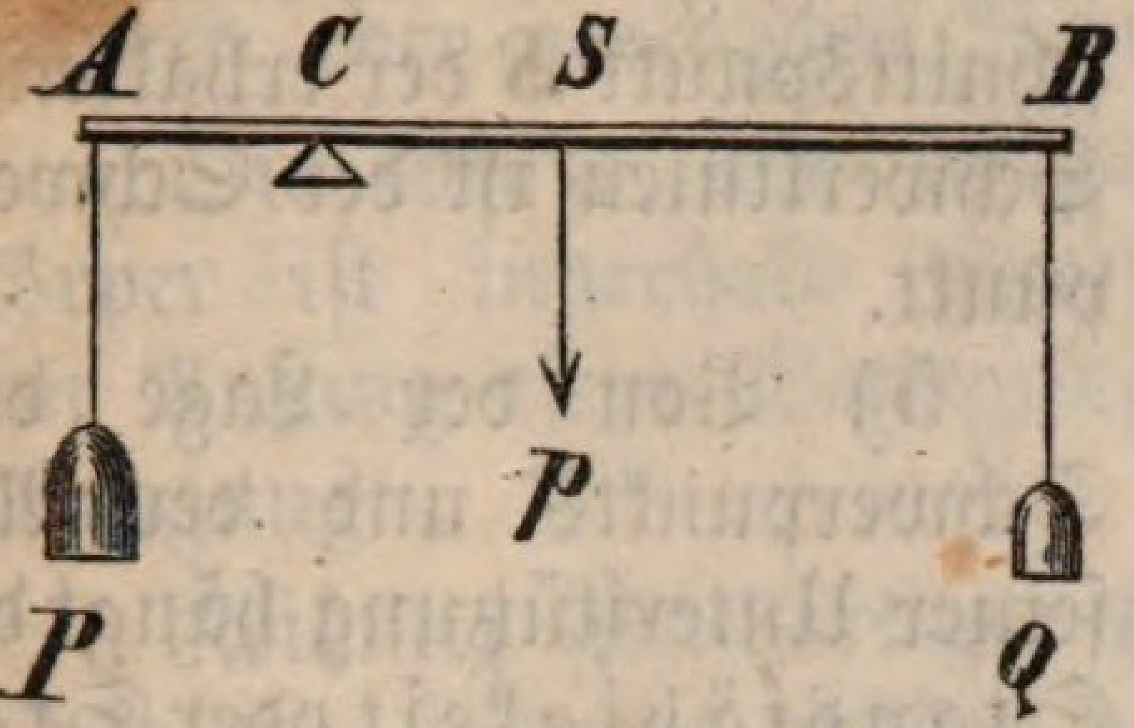
VI. Vom Schwerpunkt der Körper.

1) Für jeden Körper gibt es einen Punkt, in welchem man sich die gesammte Masse vereinigt denken kann; ist dieser Punkt unterstützt, so ist der Körper in Ruhe. Man nennt den Punkt den Schwerpunkt. — Mit andern Worten ist der Schwerpunkt auch der Angriffspunkt der Mittelkraft der Gewichte sämmtlicher Massentheilchen.

Bei einem freiaufgehängten Körper ist der Schwerpunkt immer unter dem Aufhänge- oder Stützpunkt. — Schwerlinie.

2) Der Schwerpunkt einer geraden Linie oder einer überall gleichdicken und gleichdichten Stange ist in ihrer Mitte.

Fig. 39.



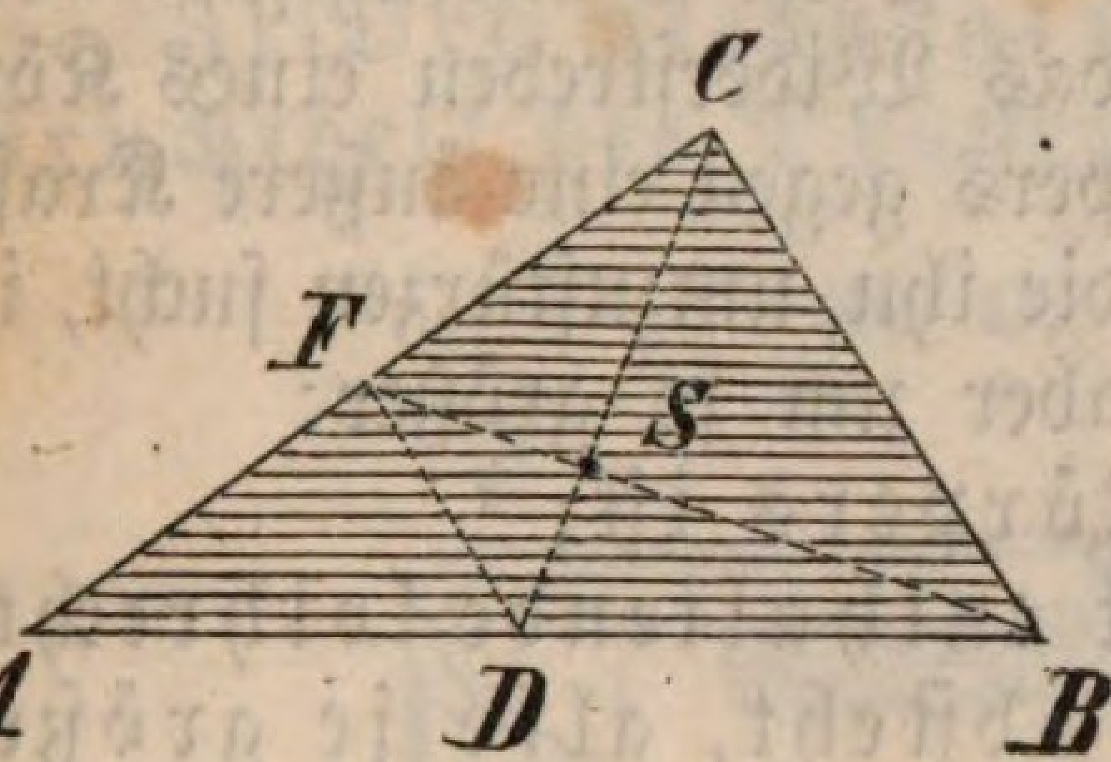
Ist eine gerade Linie belastet wie Fig. 39, so erhält man für die Lage des Schwerpunktes (Stützpunktes nach Abschn. V. a. Satz 10)

$$P \, . \, AC = Q \, . \, BC + p \, . \, SC;$$

also $AC = \dfrac{Q \, . \, BC + p \, . \, SC}{P}$.

3) Der Schwerpunkt regelmäßiger Flächen z. B. des **Kreises**, **Quadrats** und **regelmäßigen Vielecks** ist bei gleicher Dichte im Mittelpunkt.

Fig. 40.

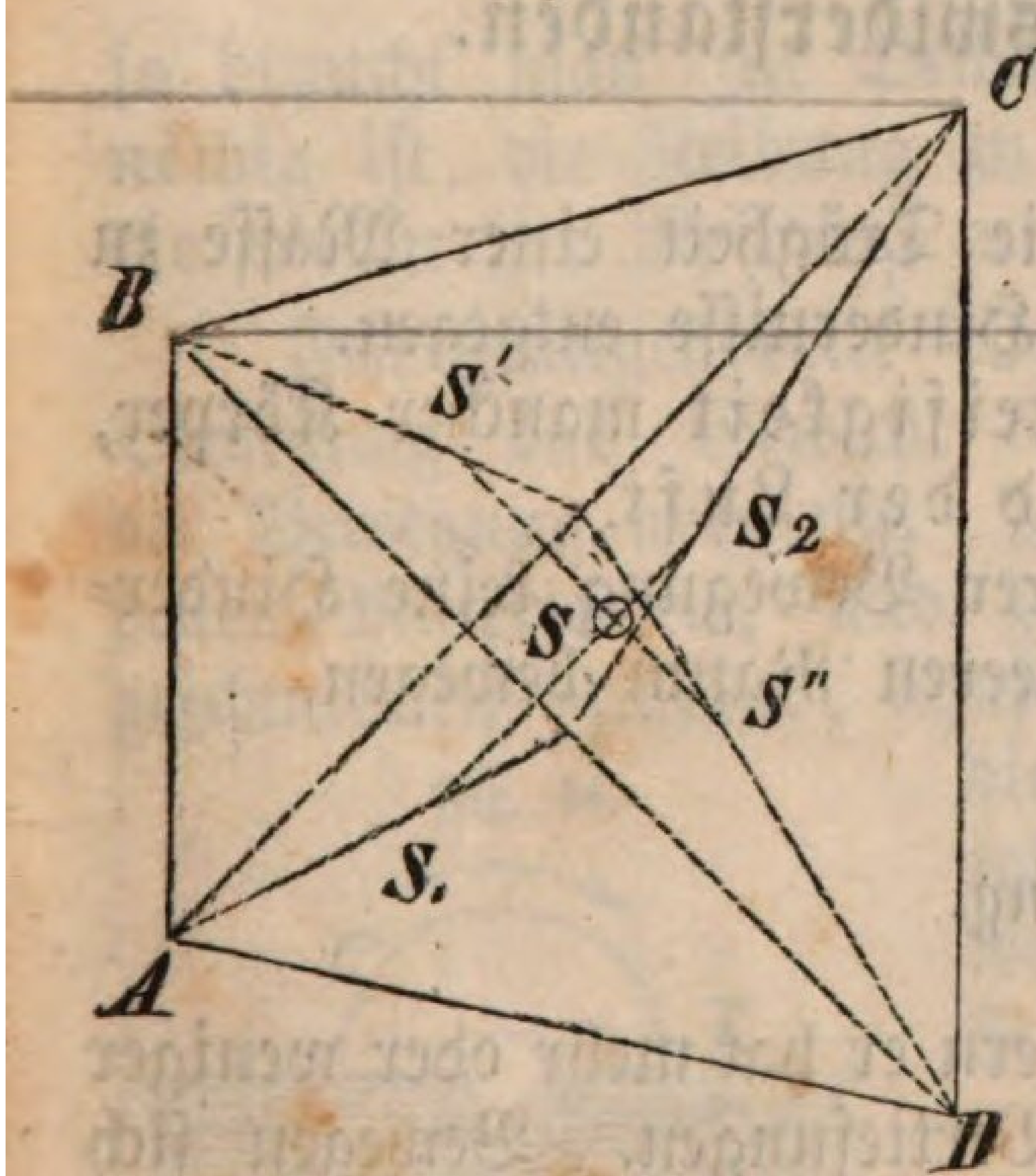


Der Schwerpunkt eines **Parallelogramms** ist im Durchschnittspunkt der Diagonalen.

Der Schwerpunkt eines **Dreiecks** Fig. 40 wird erhalten, wenn man von je zwei Spitzen nach der Mitte der gegenüber liegenden Seiten Gerade zieht. Der Durchschnittspunkt derselben ist der Schwerpunkt; derselbe liegt immer ⅓ der Halbirungslinie von der halbirten Seite entfernt, d. i. $SD = \frac{1}{3} CD$.

Der Schwerpunkt **unregelmäßiger** Flächen wird erhalten, wenn man diese durch verschiedene Diagonalen in △△ zerlegt und deren Schwerpunkte bestimmt.

Fig. 41.



In Fig. 41 wird das Viereck durch die zwei Diagonalen AC und BD in je 2 Dreiecke zerlegt. Die Schwerpunkte derselben sind S' S'' und S_1 S_2. Zieht man die Schwerlinien S' S'' und S_1 S_2 so ist deren Durchschnittspunkt S der Schwerpunkt der ganzen Fläche.

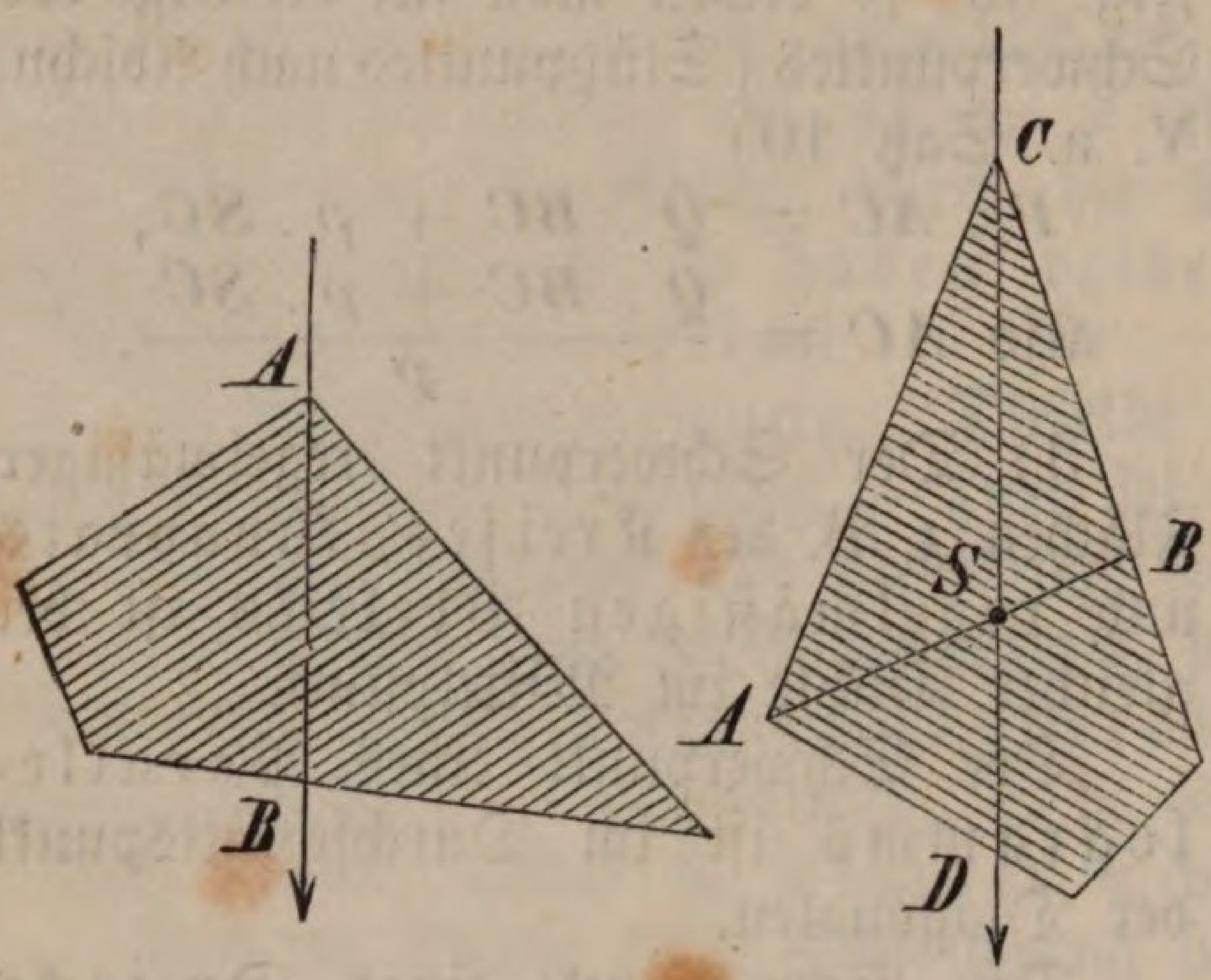
4) Der Schwerpunkt **regelmäßiger Körper**, z. B. der **Kugel**, des **Würfels** 2c. ist bei überall gleicher Dichte in der Mitte.

Der Schwerpunkt der **Prismen** und **Cylinder** liegt in der Mitte der Linie, welche die Schwerpunkte beider Grundflächen verbindet.

Bei den **Pyramiden** und **Kegeln** aber liegt der Schwerpunkt in der Linie, welche die Spitze mit dem Schwerpunkt der Grundfläche verbindet, und zwar in einem Abstand von der Grundfläche, welcher ¼ der ganzen Linie ist.

Praktische Bestimmung des Schwerpunkts durch Auflegen

Fig. 42.



auf Schneiden oder Aufhängen wie in Fig. 42. Der Durchschnittspunkt *S* der erhaltenen Schwerlinien ist der Schwerpunkt.

5) Von der Lage des Schwerpunkts und der Art seiner Unterstützung hängt die Standfähigkeit oder Stabilität eines Körpers ab.

Diese Standfähigkeit oder das Widerstreben eines Körpers gegen eine äußere Kraft, die ihn umzustürzen sucht, ist aber um so größer:

1) je größer das Gewicht des Körpers ist;

2) je weiter die den Schwerpunkt enthaltende lothrechte Linie vom Umfang der Grundfläche absteht, also je größer diese ist;

3) je tiefer der Schwerpunkt liegt.

Beweis dieser Sätze durch einfache Versuche.

Berücksichtigung bei Stützmauern, Dämmen, bei beladenen Wagen und Schiffen.

VII. Von den Bewegungswiderständen.

Bei jeder Bewegung ist nicht nur die Trägheit einer Masse zu überwinden, sondern es treten noch äußere Hindernisse entgegen.

Solche sind: die Reibung, die Steifigkeit mancher Körper, und der Widerstand des Wassers und der Luft.

Nur die Himmelskörper haben bei ihrer Bewegung keine Hindernisse zu überwinden, da sie sich in einem leeren Raum bewegen.

a. Von der Reibung.

1) Kein Körper ist absolut glatt, sondern er hat mehr oder weniger Rauhigkeiten, d. i. Hervorragungen und Vertiefungen. Bewegen sich nun solche Körper übereinander, so findet ein gegenseitiges Ineinandergreifen dieser Hervorragungen statt. Den dadurch erwachsenen Widerstand, der einer Bewegung der Körper entgegenwirkt, nennt man Reibung.

Man unterscheidet gemeine gleitende Reibung, Zapfenreibung und rollende (wälzende) Reibung.

2) Die Größe der zwischen zwei Körpern stattfindenden Reibung hängt im Allgemeinen nur ab von der Größe des Druckes und der größern oder geringern Rauhigkeit der Körper.

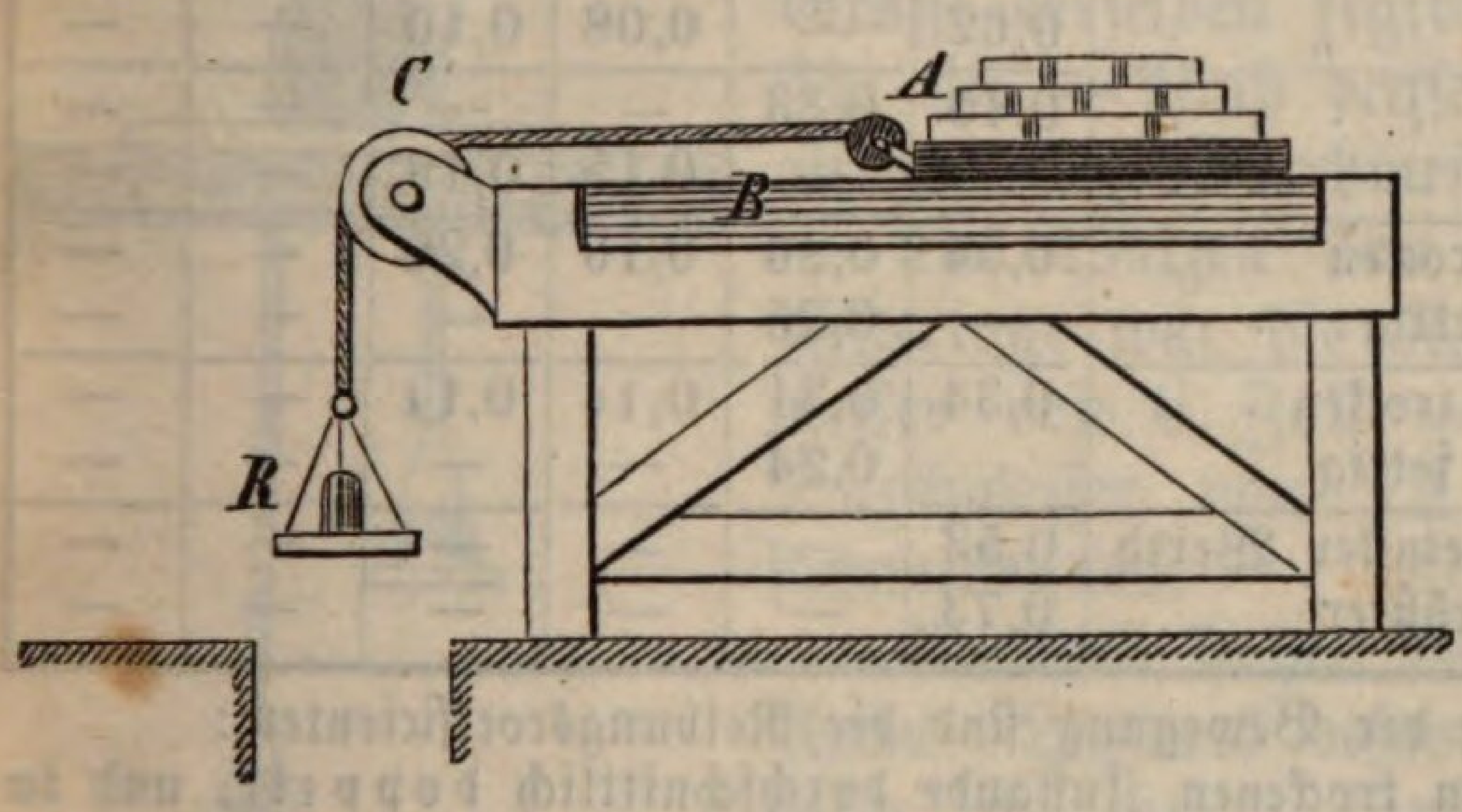
Die Größe der reibenden Flächen, sowie der Geschwindigkeit der Körper ist innerhalb gewisser Grenzen ohne Einfluß. — Warum? Am Anfang einer Bewegung ist die Reibung größer, als während der Bewegung.

Reibung gleichartiger Körper größer, als bei ungleichartigen; — ebenso bei Hölzern größer bei parallelen als bei sich kreuzenden Fasern.

Zweck der Schmiere nur die Unebenheiten auszufüllen.

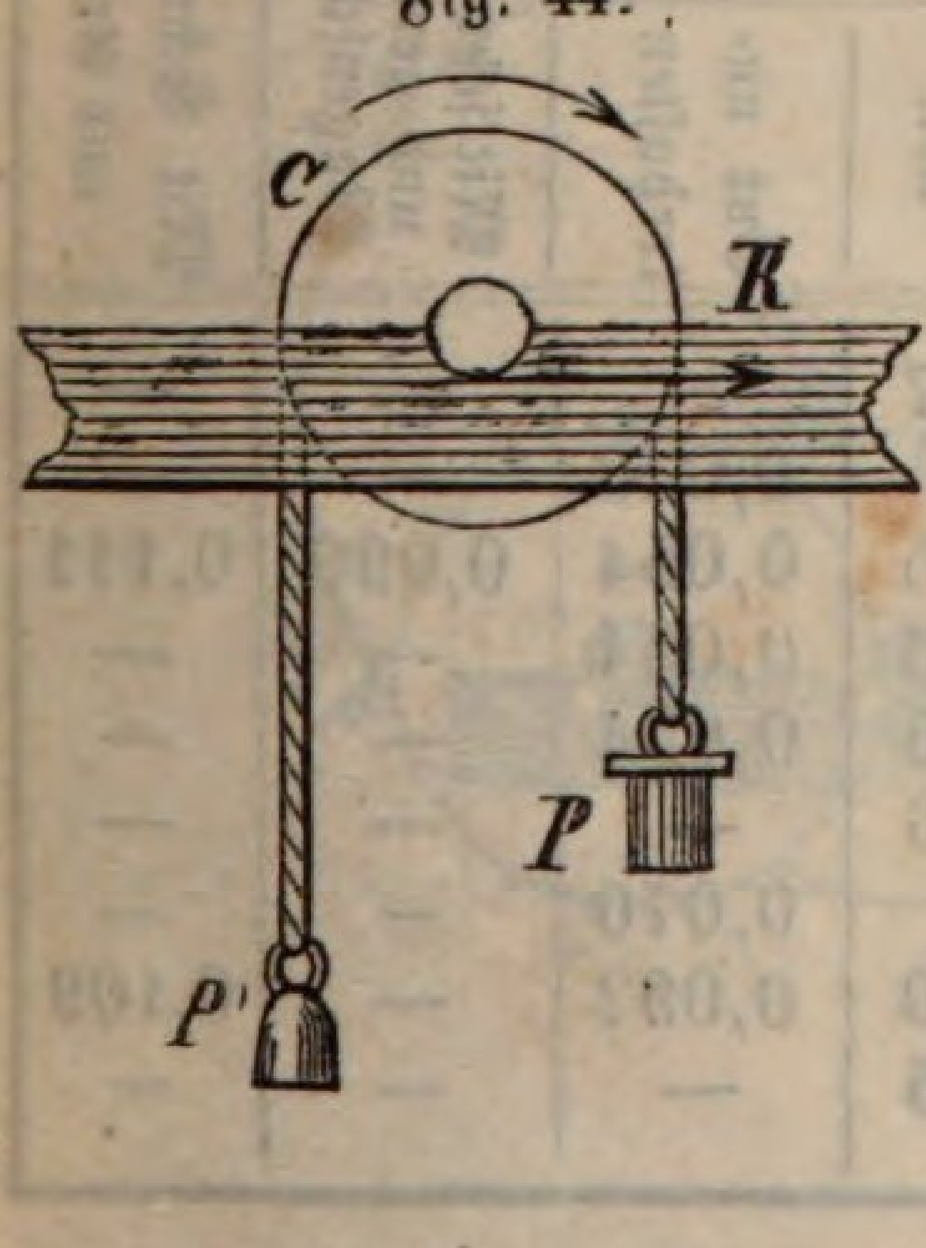
3) Der Reibungswiderstand ist immer ein bestimmtes Bruchtheil des Druckes. — Man findet dieses Verhältniß für die verschiedenen Materialien, wenn man wie in Fig. 43 ebene Platten *A* und *B* so aufeinander legt, daß die obere Platte durch ein bestimmtes Gewicht angedrückt und durch ein Gewicht *R*, das über eine Rolle *C* wirkt, gleichförmig vorwärts gezogen wird. Denn ist die Platte *B* vollkommen horizontal, so braucht man zur Bewegung der Platte *A* weiter keine Kraft, als nöthig ist, die Reibung zu überwinden. — Das Gewicht *R* zeigt also die Größe der Reibung an.

Fig. 43.



Für glattgehobelte Platten von Eichenholz muß am Anfang der Bewegung das Gewicht *R* ½ der Belastung der Platte *A*, während der Bewegung aber nur ⅓ sein. — So findet man für die verschiedenen Materialien, und zwar sowohl für den trockenen, als für den geschmierten Zustand, ähnliche Bruchzahlen. Man nennt diese Zahlen die Reibungscoefficienten und bezeichnet solche mit dem Buchstaben *f*. Es ist darum, wenn *Q* die Größe des Druckes bezeichnet, die Reibung $= f \cdot Q$.

Fig. 44.



Für die Zapfenreibung hat man die Größe der Reibungscoefficienten durch Versuche mit Vorrichtungen nach Fig. 44 ermittelt. Es ist dort $P + P'$ der Druck der Zapfen in den Lagern, hingegen, da *P* etwas größer als *P'* ist, $P - P'$ die bewegende Kraft, d. i. die Reibung.

Tafel I.

Coefficienten der gewöhnlichen gleitenden Reibung während der Bewegung.

Namen der reibenden Körper.		Trocken.	Mit Wasser benetzt.	Mit Olivenöl.	Mit Talg (Fett).	Mit Schweinefett und Graphit.	Mit trockener Seife.
Holz auf Holz	kleinster Werth . .	0,20	—	—	0,06	—	0,14
	mittlerer „ . .	0,36	0,25	—	0,07	—	0,15
	größter „ . .	0,48	—	—	0,08	—	0,16
Metall auf Metall	kleinster Werth .	0,15	—	0,06	0,07	0,06	—
	mittlerer „ .	0,18	0,31	0 07	0,09	0,08	0,20
	größter „ .	0,24	—	0,08	0,11	0,09	—
Holz auf Metall	kleinster Werth .	0,20	—	0,05	0,06	—	—
	mittlerer „ .	0,42	0,24	0,06	0,08	0,08	0,20
	größter „ .	0,62	—	0,08	0,10	—	—
Hanfseile	auf Holz	0,45	0,33	—	—	—	—
	auf Eisen	—	—	0,15	0,19	—	—
Sohlenleder, flach auf Holz und Metall	trocken . .	0,54	0,36	0,16	0,20	—	—
	fettig. . .	—	0,25	—	—	—	—
Sohlenleder, hochkantig für Liederungen	trocken . .	0,34	0,31	0,14	0,14	—	—
	fettig . .	-	0,24	—	—	—	—
Zugerichtete Bausteine	kleinster Werth	0,53	—	—	—	—	—
	größter „	0,73	—	—	—	—	—

Anmerkung. Am Anfange der Bewegung sind die Reibungscoefficienten:
Bei Holz auf Holz im trockenen Zustande durchschnittlich doppelt, und im geschmierten Zustande wohl dreimal größer als obige.
Bei Metall auf Metall sind solche, wenn nicht geschmiert wird, gleich obigen; für den geschmierten Zustand aber sind dieselben ungefähr das Doppelte.
Bei Holz auf Metall sind für den trockenen und geschmierten Zustand die Coefficienten ungefähr $1\frac{1}{2}$ mal größer als obige.
Uebrigens ist bei der Anwendung hauptsächlich nur die Reibung der Bewegung zu kennen.

Tafel II.

Coefficienten der Zapfen- oder Achsenreibung für den Zustand der Bewegung.

Namen der reibenden Körper.	Trocken oder wenig fettig.	Fettig und mit Wasser benetzt.	Mit Oel, Talg oder Schweinefett. Auf gewöhnl. Art.	Mit Oel, Talg oder Schweinefett. Gut unterhalten	Mit sehr weicher und gereinigter Wagenschmiere.	Mit Schweinefett und Graphit.
Glockengut auf Glockengut (Bronce)	—	—	0,097	—	—	—
Gußeisen „ „	—	—	—	0,049	—	—
Schmiedeisen „ „	0,251	0,189	0,075	0,054	0,090	0,111
Gußeisen „ Gußeisen	—	0,137	0,075	0,054	—	—
Schmiedeisen „ „	—	—	0,075	0,054	—	—
Guajak- od. Franzosenholz a. Gußeisen	—	—	0,116	—	—	—
Guajak auf Guajak	—	—	—	0,070	—	—
Gußeisen „ „	0,885	—	0,100	0,092	—	0,109
Schmiedeisen „ „	0,188	—	0,125	—	—	—

Anmerkung. Es ist also für den in der Praxis am meisten vorkommenden Fall, wenn Zapfen aus Schmied- oder Gußeisen in Lagern von Gußeisen, Glockengut, Messing oder Bronce laufen, und mit Oel, Talg oder Schweinefett eingeschmiert werden, der Reibungscoefficient:

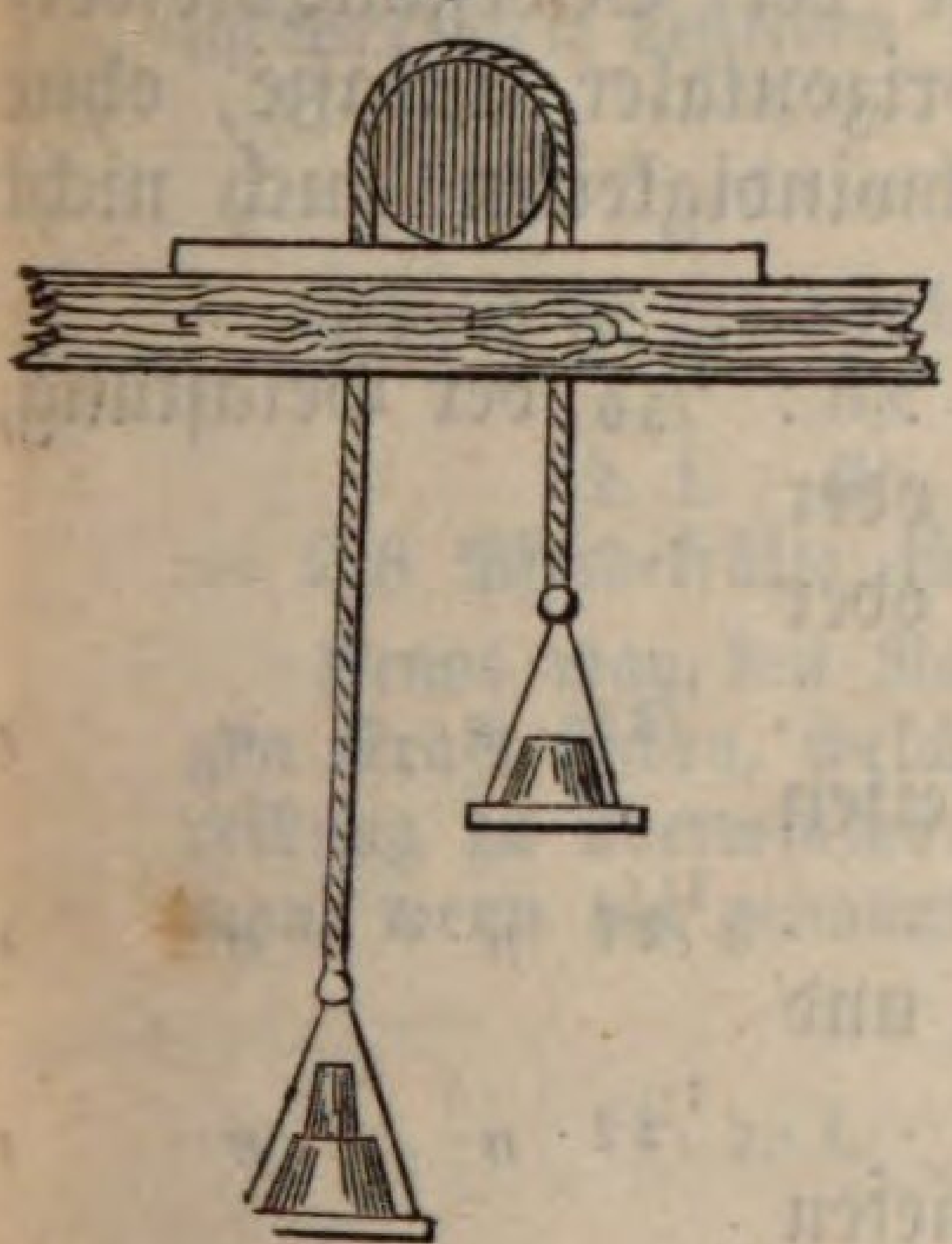
wenn von Zeit zu Zeit geschmiert wird = 0,07 bis 0,08;
bei ununterbrochener Schmierung = 0,054.

Die Reibung einer stehenden Welle kann man sich als in einer Entfernung = $\frac{2}{3} r$ vom Centrum der kreisförmigen Grundfläche, deren Halbmesser r ist, wirkend denken. Denn zerlegt man die Kreisfläche in lauter Sectoren, so fällt der Angriffspunkt der auf diesen Sectoren ruhenden Drücke in den Schwerpunkt der Fläche, d. i. in eine Entfernung = $\frac{2}{3} r$ vom Centrum.

Ist dann P die Kraft, welche am Umfange nöthig ist, um die Reibung $R = f \cdot Q$ zu überwinden, so hat man

$$P \cdot r = fQ \cdot \tfrac{2}{3} \cdot r; \text{ folglich } P = \tfrac{2}{3} fQ.$$

Fig. 45.



4) Die rollende oder wälzende Reibung ist viel geringer, als die gleitende. Die Größe derselben ergibt sich durch Versuche nach Fig 45. — Nach denselben nimmt die Reibung ab, wie der Durchmesser der Rollen zunimmt. — Bei Walzen von Ulmenholz auf eichener Unterlage war die Reibung bei einem Durchmesser von 6 Zoll = $\frac{1}{100}$, und bei einem Durchmesser von 12 Zoll = $\frac{1}{200}$ des Gesammtdruckes.

Vortheil hoher Wagenräder, sowie dünner Axen. Letzteres deßwegen, da die Reibung alsdann auf einem kürzern Weg zu überwinden ist, also weniger an Arbeitsgröße aufzehrt.

Verminderter Bewegungswiderstand durch Verwandlung der gleitenden Reibung in eine rollende durch sogen. Frictionsräder Fig. 46.

Vermehrter Widerstand durch Erzeugung einer gleitenden Reibung. — Sperren der Wagenräder. Bremsen Fig. 47 und 48.

Fig. 46.

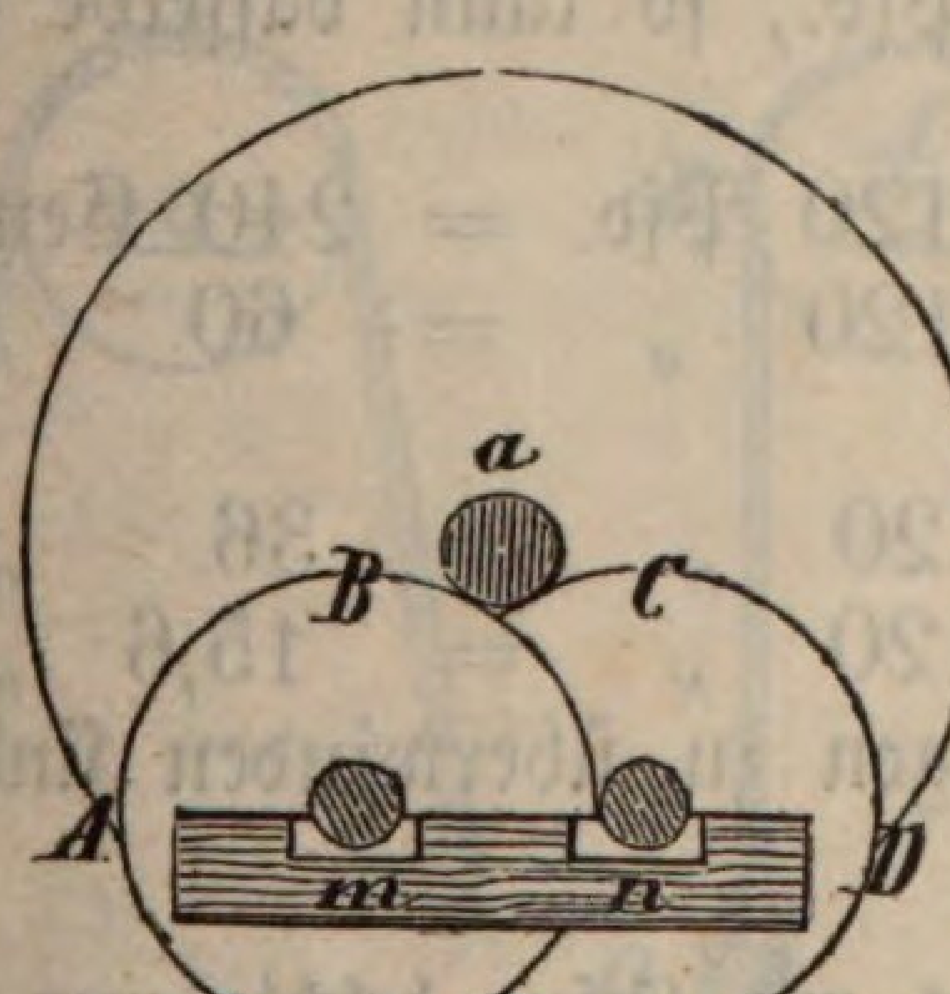


Fig. 47.

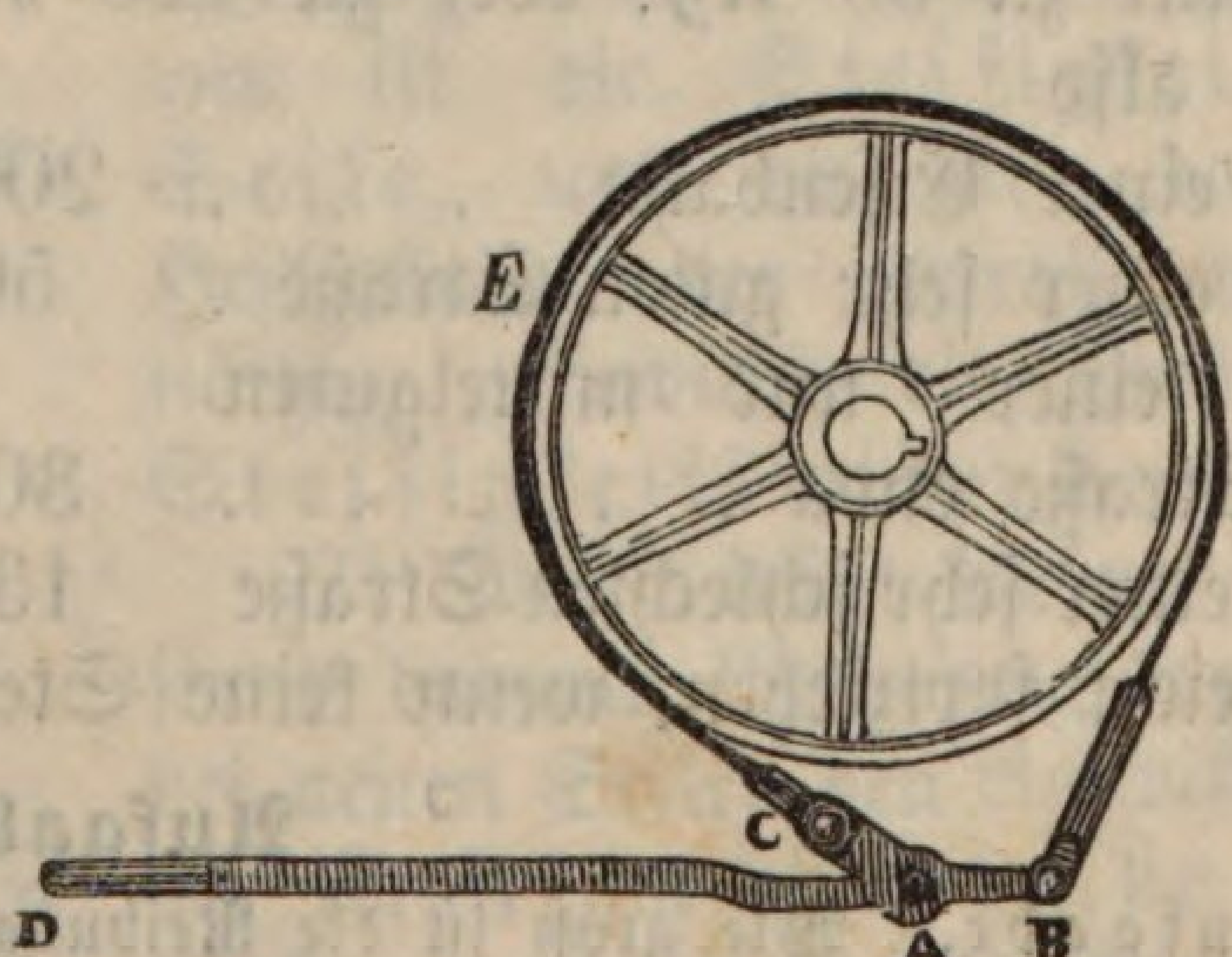
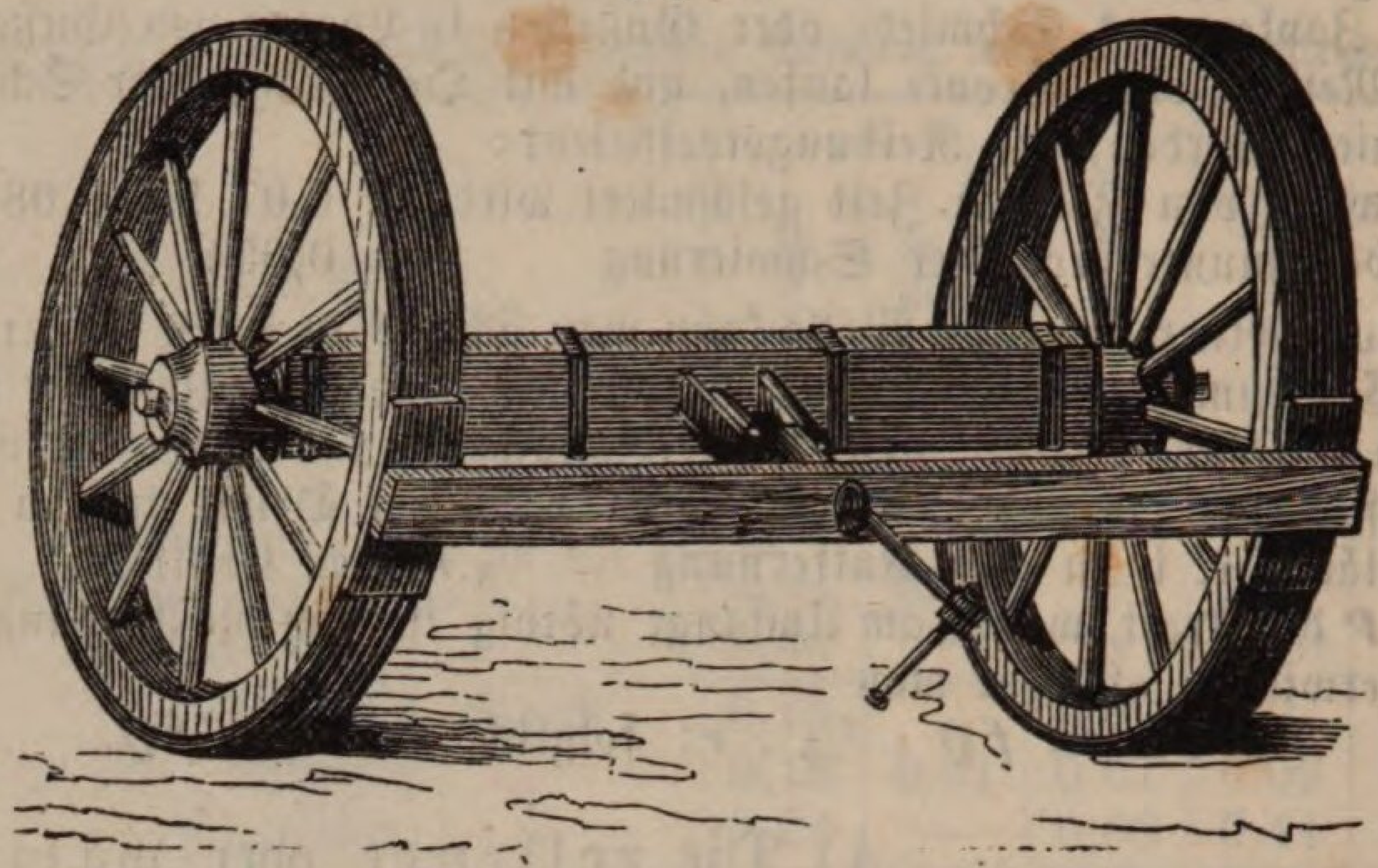


Fig. 48.



5) Reibung der Fuhrwerke. Es ist der Bewegungswiderstand bei gewöhnlichen Frachtfuhrwerken auf horizontaler Straße, ohne Luftwiderstand, der bei gewöhnlichen Fahrgeschwindigkeiten auch nicht von besonderem Einfluß ist:

auf einer sehr guten Schotterstraße	1/50	der Belastung,
auf einer guten Schotterstraße, etwas feucht oder mit Staub bedeckt, mit freiliegenden Kieseln oder Schotterstücken	1/35	" " ,
auf einer harten Schotterstraße mit leichten Geleisen und weichem Schlamm	1/27	" " ,
auf einer harten Schotterstraße mit Geleisen und Koth	1/22	" " ,
auf einer sehr schlechten Schotterstraße mit tiefen Geleisen und dickem Koth	1/13	" " ,
auf sehr gutem Pflaster	1/65	" " ,
auf geringem Pflaster	1/46	" " ,
auf einer Brückenbahn von Holz	1/43	" " .

Auf Eisenbahnen beträgt die Reibung im Mittel 1/200 der ganzen Belastung.

Rechnet man die Zugkraft eines Pferdes, wenn es im Schritte geht, nur zu 60 *Kg.* oder zu 120 bad. Pfd., so kann dasselbe für die Dauer also

auf einer Eisenbahn . . .	200 . 120	Pfd.	=	240 Centner
auf einer sehr guten Straße .	50 . 120	"	=	60 "
auf einer nur mittelguten Straße etwa	30 . 120	"	=	36 "
auf einer sehr schlechten Straße	13 . 120	"	=	15,6 "

ganz leicht fortziehen, wenn keine Steigungen zu überwinden sind.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Wie groß ist die Reibung eines mit Eisen beschlagenen Schlittens, welcher auf einer hölzernen Bahn sich bewegt und mit 800 Pfd. belastet ist?

Auflösung. Nach Tafel I ist der Reibungscoefficient f, wenn keine Schmiere angewendet wird, im Mittel zu 0,4 anzunehmen.

Es ist darum die Reibung $R = 0,4 \,.\, 800 = 320$ Pfd.

Wird mit Talg oder Schweinefett fleißig geschmiert, so ist

$$f \text{ nur } = 0,08;$$

also die Reibung $R = 0,08 \,.\, 800 = 64$ Pfd.

2te Aufgabe. Welche Arbeitsgröße wird bei der Bewegung eines Wasserrads, welches sammt Wellbaum 40000 Pfd. wiegt, durch den Reibungswiderstand aufgezehrt, wenn das Rad per Minute 8 Umgänge macht, und wenn die 1 Fuß dicken gußeisernen Zapfen in Lagern von Bronce laufen?

Auflösung. Es ist gerade so anzusehen, als hätte ein Zapfen alle Last zu tragen. Bei gewöhnlicher Schmierung mit Oel oder Talg ist

$$f = 0,08; \text{ daher}$$

die Reibung $R = 0,08 \,.\, 40000 = 3200$ Pfd.

Der Umfang des Zapfens beträgt 3,14 . 1 Fuß, daher die Umfangsgeschwindigkeit desselben

$$= \frac{3,14 \cdot 8}{60} = 0,42 \text{ Fuß.}$$

Somit ist die durch Reibung aufgezehrte Arbeit per Sekunde

$$Rs = 3200 \,.\, 0,42 = 1344 \text{ Fpfd.}$$

d. i. $R \,.\, s = 2,7$ Pferdekräfte, wenn obige Maße badische sind, $= 2,8$ Pferdekräfte für neupreußische, $= 3,17$ Pferdekräfte für östr. Maße.

Kennt man den Radhalbmesser, so kann man auch noch die Größe derjenigen Kraft finden, welche am Radumfange wirksam sein muß, um nur die Zapfenreibung zu überwinden. Wäre nämlich dieser Halbmesser = 12 Fuß, so hätte man, wenn die genannte Kraft $= P$ gesetzt wird, nach V. Satz 10

$$P \,.\, 12 = R \,.\, 0,5$$

$$\text{d. i. } P = \frac{3200 \,.\, 0,5}{12} = 133,3 \text{ Pfd.}$$

b. Von der Steifigkeit der Seile.

1) Ein unbelastetes um eine Rolle geschlungenes Seil nimmt immer eine Lage an, wie sie Fig. 49 zeigt, und es erfordert schon die Wirkung einer Kraft (Gewichts) um die Seile parallel zu bringen, wie Fig. 50. — Die Ursache hievon ist die Steifigkeit der Seile, und es gibt das zur Herstellung der parallelen Lage nöthige Gewicht die Größe des Steifigkeitswiderstands an.

Fig. 49.

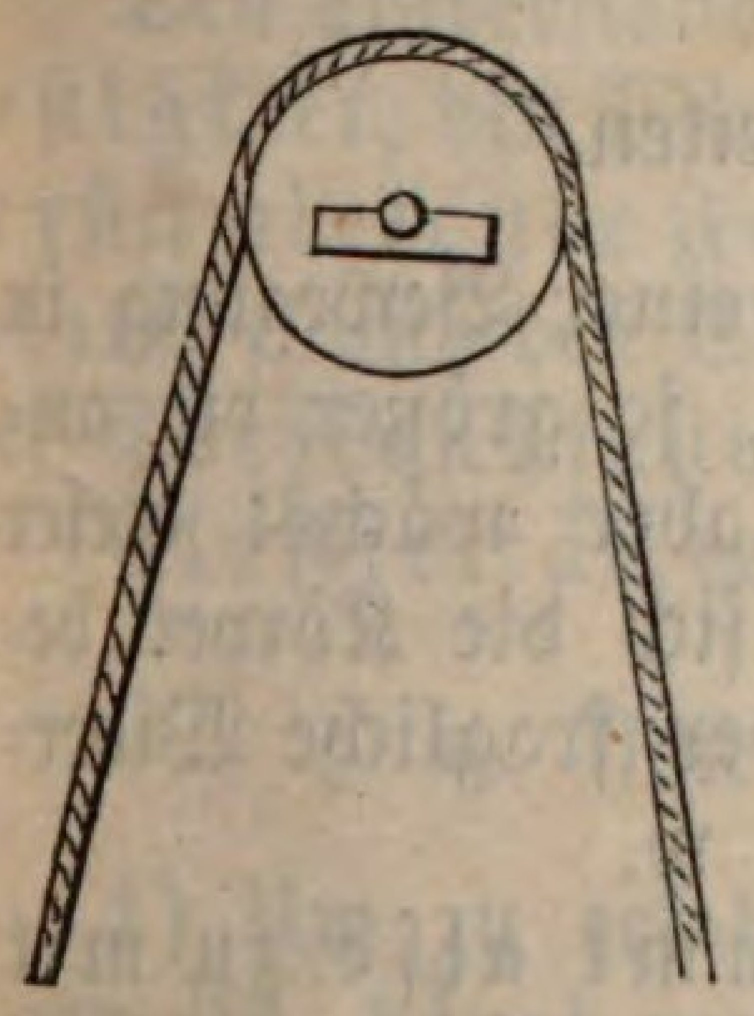
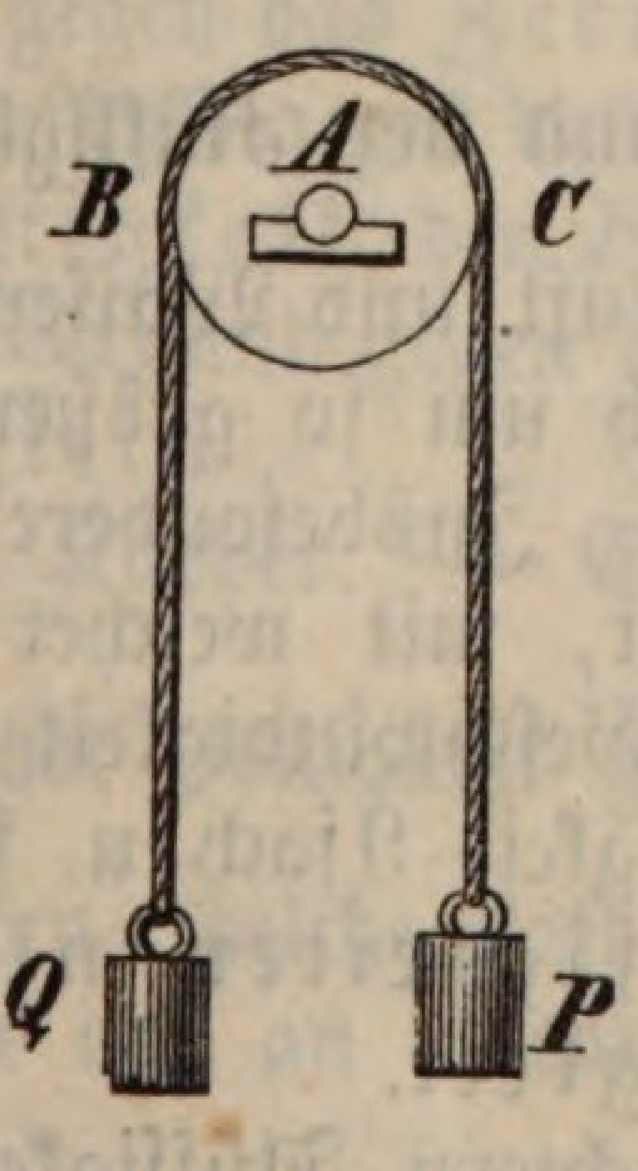


Fig. 50.



2) Man trägt diesem Widerstand dadurch Rechnung, daß man bei neuen Seilen den Angriffspunkt der Kraft um eine halbe Seildicke weiter vom Drehpunkt der Rolle entfernt denkt, als bei paral-

lelen Seilen der Fall wäre. Dadurch wird nach V. a. 10 die **Wirkungsfähigkeit** der Kraft um so viel vergrößert, als der **Steifigkeitswiderstand** nöthig macht.

Genauer ist der Steifigkeitswiderstand $S = \frac{Q \cdot d^2}{r}$, wobei Q die zu hebende Last, d die Seildicke und r der Halbmesser der Rolle ist. K ist ein Coefficient, der, wenn Q in $Kg.$ und d und r in Centimeter bezeichnet werden, = 0,186 ist.

Für badische Maße ist . . . . $K = 0{,}558$,
für preuß. und österr. Maße ist $K = 0{,}5$.

Aufgaben.

1stes Beispiel. Welche Kraft P ist anzuwenden, wenn man vermittelst einer Leitrolle, welche 12 badische Zoll Durchmesser hat, eine Last von 600 Pfd. heben will, wenn das anzuwendende Seil noch neu und 1,4 Zoll dick ist?

Auflösung. Der Angriffspunkt der Kraft ist in der Mitte des Seiles, also seine Entfernung vom Mittelpunkt der Rolle = 6 + 0,7 = 6,7″. Die Entfernung des Lastangriffspunktes ist aber um die Hälfte der Seildicke größer, also = 6,7 + 0,7 = 7,4″.

Somit hat man, wenn P die Kraft bezeichnet,

$$6{,}7 \cdot P = 7{,}4 \cdot 600,$$

$$P = \frac{7{,}4 \cdot 600}{6{,}7} = 662{,}7 \text{ Pfd.};$$

und es beträgt also der Steifigkeitswiderstand

$$S = 662{,}7 - 600 = 62{,}7 \text{ Pfd.}$$

2tes Beispiel. Wie groß ist der Steifigkeitswiderstand in voriger Aufgabe, wenn die Berechnung nach der Formel $S = K \cdot \frac{Qd^2}{r}$ ausgeführt wird?

Auflösung. Nach dieser Formel beträgt, da $r = 6 + \frac{1{,}4}{2} = 6{,}7$ ist,

$$S = \frac{0{,}558 \cdot 600 \cdot 1{,}4^2}{6{,}7} = 97{,}9 \text{ Pfd.}$$

Es muß also die Zugkraft P, abgesehen von der Zapfenreibung, = 600 + 97 = 697 Pfd. sein.

Diese Berechnungsart gibt — wie man sieht — größere Werthe von S an, und ist jedenfalls der vorigen vorzuziehen.

c. Von dem Widerstand der Flüssigkeiten.

1) Der Widerstand, welchen Luft und Wasser einer Bewegung in denselben entgegensetzen, ist natürlich um so größer, je größer die anstoßende Fläche eines Körpers ist. Insbesondere aber wächst dieser Widerstand mit der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Körper begegnen, und zwar ist bei doppelter Geschwindigkeit der fragliche Widerstand 4fach, bei 3facher Geschwindigkeit 9fach u. s. w.

Der Widerstand der Flüssigkeiten nimmt also zu mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

Auch ist der Widerstand bei dichtern Flüssigkeiten größer.

2) Von besonderm Einfluß ist der Luftwiderstand bei der Bewegung der Eisenbahnzüge. Es beträgt dieser auf je 1 □-Meter Stoßfläche bei 1 Meter Geschwindigkeit . . . . = 0,122 Kg., also bei einer gewöhnlichen Fahrgeschwindigkeit von 12 Meter schon = 144 . 0,122 = 17,6 Kg.

Dies gilt für die Locomotive. Bei den angehängten Wagen beträgt der Luftwiderstand nur etwa 40 % hievon.

Aehnlich verhält es sich mit dem Widerstand der Schiffe im Wasser. – Besondere Formen derselben, um den Widerstand zu vermindern.

Aufgabe.

Wie groß ist der Luftwiderstand, den ein Eisenbahnzug bei einer Geschwindigkeit von 10 Meter erleidet, wenn die Stirnfläche der Locomotive 8 □ Meter beträgt, und wenn 12 Waggons von je 4 □ Meter Stirnfläche angehängt sind; und welche Arbeitsgröße ist zur Ueberwindung dieses Widerstandes aufzubieten?

Auflösung. Widerstand der Locomotive $= 0{,}122 \,.\, 8 \,.\, 10^2 = 97{,}6$ *Kg.*;
Widerstand der 12 Wagen $= 0{,}4 \cdot 0{,}122 \,.\, 12 \cdot 4 \,.\, 10^2 = 234{,}24$ *Kg.*;
also gesammter Luftwiderstand = 332 *Kg.*

Die zur Ueberwindung dieses Widerstandes verbrauchte sekundliche Arbeitsgröße ist
$P \cdot v = 332 \,.\, 10 = 3320$ *Km.* = 44,3 Pferdekräfte.

Um den nämlichen Wagenzug mit nur 1 Meter Geschwindigkeit zu bewegen, wäre, wegen des Luftwiderstandes, nur ein Effekt $= \frac{44{,}3}{1000} = 0{,}04$ Pferdekraft aufzubieten, da der Effekt mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit zu- oder abnimmt.

VIII. Von der Festigkeit der Körper.

Die in der Technik verwendeten Materialien haben immerhin einem auf sie einwirkenden Druck oder Zug zu widerstehen, so daß weder ein Verschieben ihrer Theilchen, noch eine Formveränderung eintritt. Man nennt diese Widerstandsfähigkeit der Körper ihre Festigkeit.

Verschiedene Arten der Festigkeit, je nach Art der Krafteinwirkung.

Eine Kraft kann einen Körper zerreißen, zerdrücken, abbrechen oder zerdrehen.

Den Widerstand gegen das Zerreißen nennt man die absolute Festigkeit, den Widerstand gegen das Zerdrücken oder Zerquetschen die rückwirkende Festigkeit; den Widerstand gegen das Abbrechen die relative und den Widerstand gegen das Zerdrehen die Drehungs- oder Torsionsfestigkeit.

Elasticität der Körper. — Elasticitätsgrenze.

a. Von der Festigkeit gegen das Zerreißen.

1) Um zu erfahren, welche Last ein Körper aufnehmen kann, bis er zerreißt, hängt man ihn an einem Ende auf und beschwert ihn am andern Ende.

(Das Gewicht, das eine Stange, deren Querschnitt 1 □ Centimeter 1 □ Zoll 2c. ist, aufnehmen kann, ist der sogen. Festigkeitsmodul. Bei einem doppelten Querschnitt trägt ein Körper doppelt soviel 2c.; es hängt also die absolute Festigkeit nur vom Querschnitte ab.

2) Der Festigkeitsmodul nennt, was 1 □ Centim. (1 □ Zoll) aufnehmen kann, bis der Körper bricht. In der Anwendung darf natürlich ein Körper nicht so stark belastet werden, sondern man belastet Metalle nur mit 1/6, Hölzer und Steine nur mit 1/10, Riemen und Seile nur mit 1/3.

Demnach ist folgende Tabelle zusammengestellt, welche sowohl den Festigkeits- als auch den sogen. Sicherheitsmodul enthält, und zwar für einen Querschnitt von 1 □ Centimeter und eine in *Kg.* angegebene Belastung.

Für den Gebrauch von □ Zollen und Pfunden müßte man für badische Maße den Modul 18 fach, für württemb. Maß 16,42 fach, für preuß. Maß 13,68 fach 2c. nehmen.

Tafel

über das Maß der absoluten Festigkeit für einen Querschnitt von 1 □ Centimeter.

Namen der Körper.	Festigkeitsmodul.	Sicherheitsmodul.
Eisendraht	6000 — 7000 *Kg.*	1000 — 1200 *Kg.*
„ sehr feiner	7000 — 8000 „	1200 — 1350 „
Eisenstäbe	3000 — 6000 „	500 — 1000 „
Gehämmertes oder gezogenes Eisen	5500 — 6000 „	950 — 1000 „
Eisenblech	3600 — 4000 „	600 — 700 „
Gußeisen	1300 — 1400 „	220 — 240 „
Stahl	8000 — 9000 „	1400 — 1500 „
Gehärteter Gußstahl	10000 „	1700 „
Kupfer, gegossenes	1340 „	220 „
„ geschlagenes	2400 „	400 „
Kupferdraht	3000 — 6000 „	500 — 1000 „
Kupferblech	2100 „	350 „
Messing, gegossen	1250 „	210 „
Messingdraht, harter	4100 „	700 „
„ dünner, weicher	6600 — 8500 „	1100 — 1400 „
Zinn, gegossen	300 — 400 „	50 — 70 „
Blei „	60 — 140 „	10 — 24 „
Blei, gewalzt	80 — 160 „	14 — 27 „
Glas	300 „	30 „
Steine, feinkörnige	14 „	1,4 „
Backstein, gut gebrannt	18 — 20 „	1,8 — 2 „
Gyps	4 „	0,4 „
Mörtel, gewöhnl. schlechter	1 „	0,1 „
„ von hydraulischem Kalk	10 „	1 „
Sommer- und Steineichenholz	1500 „	150*) „
Buchsbaum	1400 „	140 „
Buche	800 — 1500 „	80 — 150 „

Namen der Körper.	Festigkeitsmodul.	Sicherheitsmodul.
Ahorn, Birke, Esche	1100 — 1200 *Kg*.	110 — 120 *Kg*.
Ulme, Erle	1000 "	100 "
Tannen und Fichten	800 — 900 "	80 — 90 "
Gemeine Eiche	700 — 900 "	70 — 90 "
Erle, Linde, Nußbaum und Kirschbaum	900 "	90 "
Apfel- und Birnbaum	650 — 800 "	65 — 80 "
Riemen	60 "	20 "
Seile unter 3 Centimeter dick	620 "	200 "
" bis 1 Decimeter "	480 "	160 "
" über 1 " "	340 "	115 "

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Last kann eine runde schmiedeiserne Zugstange, deren Durchmesser 3 Centimeter ist, aufnehmen?

Auflösung. Der Querschnitt der Stange ist

$$= \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{9 \cdot 3{,}14}{4} = 7{,}065 \ \square \text{Centimeter.}$$

Für 1 □Centim. darf man bei vollkommener Sicherheit 500 bis 1000, also im Mittel ungefähr 800 *Kg*. aufrechnen; folglich trägt genannte Stange 7,065 . 800 = 5652 *Kg*.

Bei einer nicht andauernden Belastung darf diese auch zu $^1/_3$ des Festigkeitsmoduls angenommen werden.

Nimmt man diesen im Mittel zu 4500 *Kg*. an, so würde also obige Stange $7{,}065 \cdot \frac{4500}{3} = 10597$ *Kg*. tragen.

2te Aufgabe. Wie groß muß der quadratische Querschnitt einer Hängsäule von Tannenholz sein, wenn dieselbe eine andauernde Last von 40000 bad. Pfd. aufnehmen soll?

Auflösung. Für Tannenholz ist der Sicherheitsmodul 80—90 *Kg*., also im Mittel 85 *Kg*. pr. □Centimeter; daher für 1 bad. □Zoll = 18 . 85 = 1530 Pfd.

Der Querschnitt der Hängsäule muß darum

$$= \frac{40000}{1530} = 26{,}14 \ \square'';$$

folglich die Seite des Querschnitts

$$= \sqrt{26{,}14} = 5{,}1''$$

groß sein.

3te Aufgabe. Welchen Durchmesser sollen die vier schmiedeisernen Säulen einer hydraulischen Presse erhalten, wenn der durch die Presse ausgeübte größte Druck 150000 *Kg*. beträgt?

Auflösung. Nimmt man den mittlern Festigkeitsmodul zu 4500 *Kg*., und da die Belastung nicht andauernd ist, zur Sicherheit davon $^1/_3$ als aufzugebende Last an, so darf für 1 □Centimeter Querschnitt 1500 *Kg*. gerechnet werden.

Für eine Gesammtbelastung von 150000 *Kg*. ist darum der nöthige Querschnitt für alle 4 Säulen $= \frac{150000}{1500} = 100$ □Centimeter.

Es beträgt demnach der Querschnitt einer Säule 25 □ Centimeter und folglich ihr Durchmesser $d = \sqrt{\frac{4\ .\ 25}{3,14}} = 5,64$ Centimeter.

4te Aufgabe. Wie breit muß ein 2 preußische Linien dicker lederner Riemen sein, damit er eine Spannung von 300 Zollpfd. gut aushält?

Auflösung. Ein Riemen, dessen Querschnitt 1 preuß. Quadratzoll groß ist, hält nach Obigem für die Dauer einen Zug von 13,68 . 20 = 273,6 Pfd. aus.

Um eine Spannung von 300 Pfd. auszuhalten, muß darum der Querschnitt des Riemens $= \frac{300}{273,6} = 1,096$ □″ sein.

Ist nun x die Riemenbreite, so hat man — da die Riemendicke $^2/_{12}$ Zoll ist —

$^2/_{12} \cdot x = 1,096$; folglich $x = 6\ .\ 1,096$;

d. i. $x = 6,576$ pr. Zoll = 6″ 7‴.

b. Von der Festigkeit gegen das Zerdrücken.

1) Säulen, Pfeiler, Mauern ꝛc. haben der auf sie einwirkenden Belastung durch ihre rückwirkende Festigkeit zu widerstehen. Dieselbe richtet sich auch wieder so nach dem Querschnitt, daß eine Säule ꝛc. bei doppeltem und dreifachem Querschnitt doppelt oder dreimal soviel trägt. Jedoch hat auch die Höhe der Säule ꝛc. einen Einfluß; denn je höher ein Körper ist, desto geringer ist seine Tragkraft.

Diese nimmt so ab, daß wenn man die Tragfähigkeit bei einer Höhe gleich der Dicke = 1 setzt, so ist

für Bauhölzer:

bei	12	facher	Höhe	der	Widerstand	nur	noch	$^5/_6$,
„	24	„	„	„	„	„	„	$^1/_2$,
„	36	„	„	„	„	„	„	$^1/_3$,
„	48	„	„	„	„	„	„	$^1/_6$,
„	60	„	„	„	„	„	„	$^1/_{12}$;

für Schmiedeeisen:

bei	12	facher	Höhe	der	Widerstand	nur	noch	$^5/_8$,
„	24	„	„	„	„	„	„	$^1/_2$,

für Gußeisen:

bei	4	facher	Höhe	der	Widerstand	nur	noch	$^2/_3$,
„	8	„	„	„	„	„	„	$^1/_2$,
„	36	„	„	„	„	„	„	$^1/_{15}$;

für Steine:

bei	24	facher	Höhe	der	Widerstand	nur	noch	$^2/_3$,
„	30	„	„	„	„	„	„	$^5/_9$,
„	40	„	„	„	„	„	„	$^1/_3$.

2) Der Festigkeits- sowie der Sicherheitsmodul für rückwirkende Festigkeit ist in folgender Tabelle enthalten. Letzterer beträgt für Metalle nur $^1/_5$, bei Hölzern und Steinen nur $^1/_{10}$ und bei Mauern aus Bruchsteinen nur $^1/_{20}$.

Tafel

über das Maß der rückwirkenden Festigkeit für 1 Cubikcentimeter.

Namen der Körper.	Festigkeitsmodul.	Sicherheitsmodul.
Gußeisen	10000 *Kg.*	2000 *Kg.*
Schmiedeisen	5000 „	1000 „
Kupfer	4000—8000 „	800—1600 „
Kanonenmetall	25000 „	5000 „
Eichenholz	200 — 460 „	20 — 46 „
Rothtannen- und Fichtenholz	450 — 550 „	45 — 55 „
Weißtannenholz	140 „	14 „
Basalt	2000 „	200 „
Porphyr	2450 „	240 „
Gneis	350 „	35 „
Granit	400— 800 „	40 — 80 „
Marmor	300—1000 „	30 —100 „
Gyps	50— 70 „	5 — 7 „
Kalkstein	80— 400 „	8 — 40 „
Sandstein	80— 800 „	8 — 80 „
Backstein	40— 150 „	4 — 15 „
Mörtel	30— 60 „	3 — 6 „

Für badische Maße nimmt man den Modul wieder 18fach, für württemb. 16,42fach, für preuß. 13,68fach ꝛc.

Für die Belastung hölzerner Pfeiler gilt auch die praktische Regel, daß man bei 10facher Höhe auf 1 □ Linie des Querschnitts 5 Pfd., bei 15facher Höhe 4 Pfd. und bei 20facher Höhe 3 Pfd. rechnet.

Hohle Säulen tragen mehr, als massive mit gleichem Querschnitt.

Die Mauerdicken für Wohnhäuser mache man $= \frac{1}{40} t + \frac{1}{25} h$, wenn t die Tiefe (Breite) des Hauses und h die Höhe der ganzen Mauer, vom Boden an gerechnet, ist.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Last kann ein 13 bad. Fuß hoher Pfeiler oder Pfosten aus sehr gutem Eichenholz auf die Dauer tragen, wenn die Seite seines quadratischen Querschnitts 12 Zoll lang ist?

Auflösung. Der Querschnitt der Säule ist = 12 . 12 = 144 □″. Für gutes Eichenholz kann nach obiger Tafel der Sicherheitsmodul per 1 bad. □″ zu 18 . 40 = 720 Pfd. angenommen werden.

Da aber fragliche Säule $\frac{130}{12}$ d. i. ungefähr 11mal höher als dick ist, so darf die Belastung auf 1 □″ nur $\frac{5}{6}$ von 720, also 600 Pfd. betragen.

Somit kann die Säule eine Gesammtlast von 144 . 600 = 86400 Pfd. aufnehmen.

2te Aufgabe. Welchen Durchmesser muß eine 12 preuß. Fuß hohe Säule aus Gußeisen erhalten, wenn solche eine Last von 30000 Zollpfd. tragen soll?

Auflösung. Für einen Querschnitt von 1 preuß. □'' beträgt der Sicherheitsmodul bei Gußeisen 13,68 . 2000 = 27360 Pfd.

Nimmt man nun an, die Säule soll einen Durchmesser erhalten, welcher der 36ste Theil ihrer Höhe ist, so darf für 1 □'' nur $^1/_{15}$ der obigen Belastung, also nur $\frac{27360}{15} = 1824$ Pfd. gerechnet werden.

Um 30000 Pfd. tragen zu können, müßte demnach der Querschnitt der Säule $\frac{30000}{1824} = 16{,}447$ □'', also ihr Durchmesser

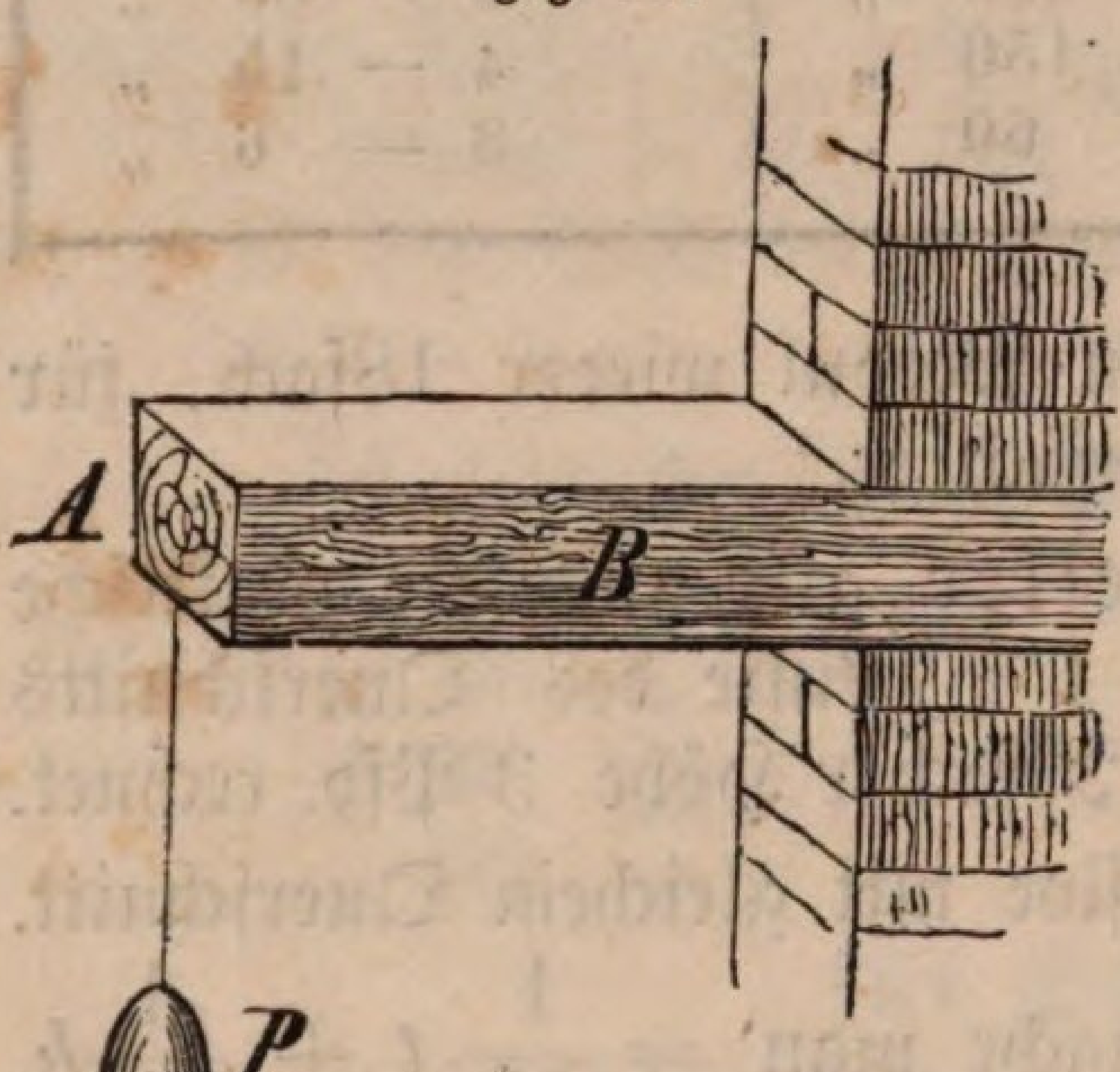
$$d = \sqrt{\frac{4\ .\ 16{,}447}{3{,}14}} = \sqrt{20{,}95} = 4{,}57''$$

groß sein.

Dieser Durchmesser ist alsdann $\frac{12\ .\ 12}{4{,}57} = 31^1/_2$ mal kleiner als die Höhe, also die Säule noch verhältnißmäßig stärker, als angenommen wurde.

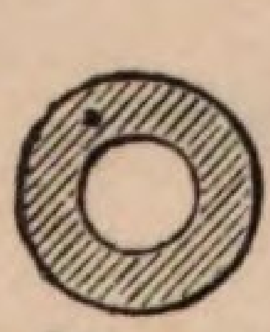
c. Von der Festigkeit gegen das Abbrechen.

Fig. 51.

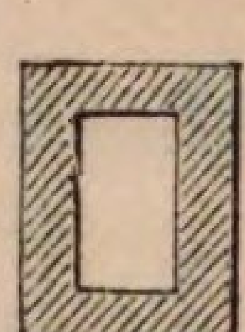


1) Sucht eine Kraft ***P*** den Balken ***AB*** Fig. 51 in ***B*** abzubrechen, so leistet dieser jedenfalls auch einen größern Widerstand, wenn er einen größern Querschnitt hat; allein es haben auf diesen Widerstand, d. i. auf seine relative Festigkeit, auch noch andere Umstände wesentlichen Einfluß. So namentlich kommt es auf die Form des Querschnitts, auf die Lage des Körpers, auf die Art der Belastung und die Art der Unterstützung an.

Fig. 52.



53.



54.



Körper mit hohlen oder zusammengesetzten Querschnitten, z. B. wie Fig. 52, 53, 54 und 55, tragen mehr, als solche mit massiven Querschnitten, wie Fig. 56 und 57, wenn die Querschnitte auch gleich groß sind.

Fig. 55.



56



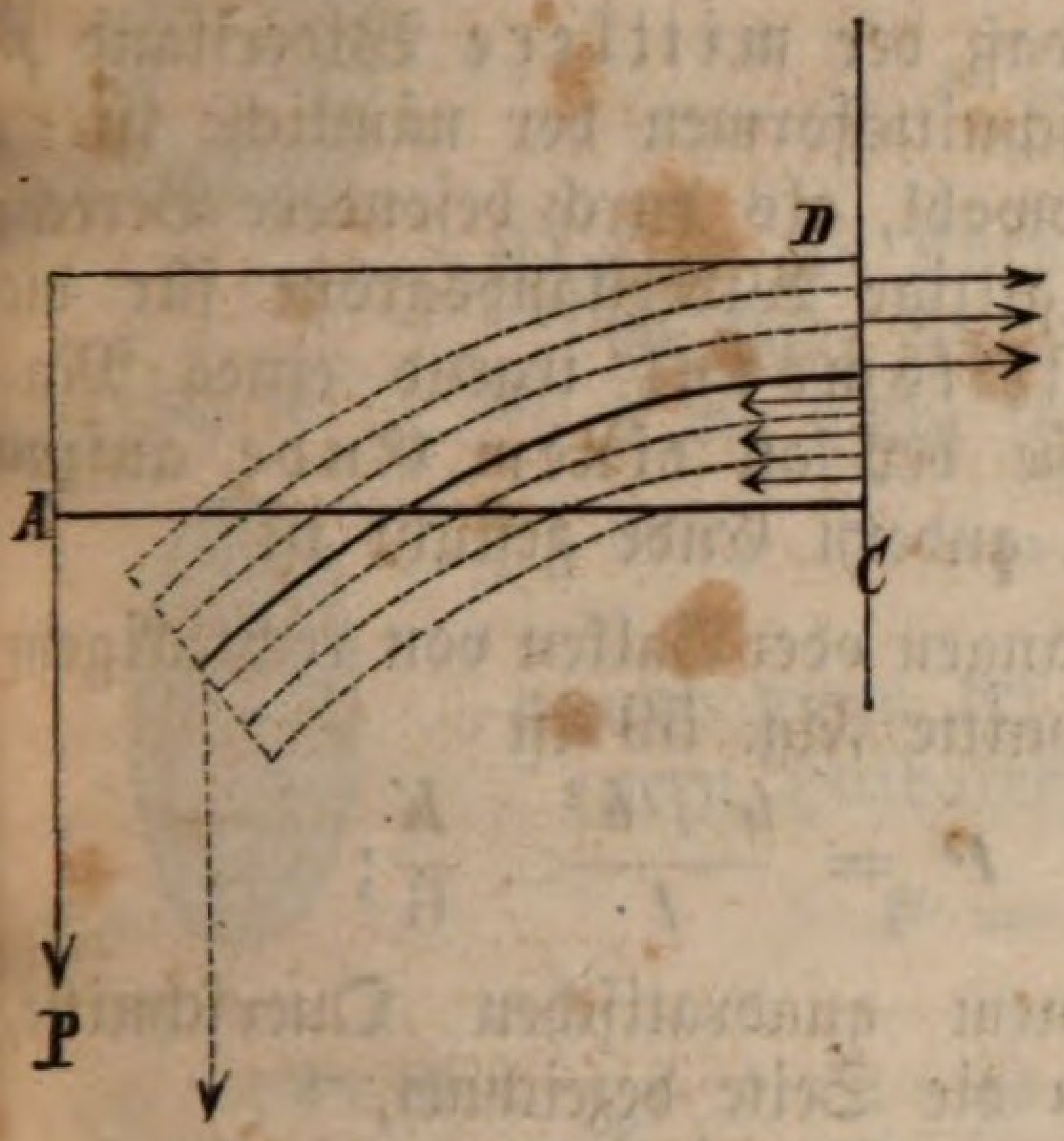
57.



Ein Balken von rechteckigem Querschnitt trägt mehr, wenn er auf der schmalen Seite liegt, als wenn er auf der Breitseite ruht. Im ersten Fall trägt er mehr, im letztern weniger, als bei gleich großem quadratischem Querschnitte.

Hinsichtlich der Belastung und Unterstützung ist es nicht gleich, ob die Last in der Mitte, am Ende ꝛc. angebracht, oder der Körper in der Mitte oder an beiden Enden ꝛc. gestützt ist.

Fig. 58



2) Man kann sich den Widerstand der einzelnen Fasern eines Balkens Fig. 58, den die Kraft *P* in *CD* abzubrechen sucht, als einzelne Kräfte denken, die zum Theil einem Zerreißen, zum Theil einem Zerdrücken der Fasern widerstehen. Ist der Widerstand einer Faser $= p$, so sind $b \,.\, h$ solche widerstehende Kräfte vorhanden, wenn *b* die Breite und *h* die Dicke des Balkens, also $b \,.\, h$ den Querschnitt bezeichnet. Der Gesammtwiderstand wäre dann $b \,.\, h \,.\, p$, welchen man sich, nach der Lehre von der Kräftezusammensetzung, im Schwerpunkt des Querschnitts, bei dem fraglichen Rechtecke also in einer Entfernung $\frac{h}{2}$ von der Brechungskante *C* wirksam denken muß. Der Widerstand $b \,.\, h \,.\, p$ widersteht also in einer Entfernung $\frac{h}{2}$ von der Kante *C* einer Drehung um dieselbe.

Somit ist nach Abschn. V. a. Abs. 10 das Widerstands- oder das statische Moment der widerstehenden Kräfte $= b \,.\, h \,.\, p \,.\, \frac{h}{2} = \frac{b \,.\, h^2 \,.\, p}{2}$. Das Drehungsmoment der Kraft *P* ist aber $= P \,.\, l$, wenn *l* die Länge *AC* des Balkens ist.

Es muß darum für's Gleichgewicht

$$P \,.\, l = \frac{b \,.\, h^2 \,.\, p}{2},$$

$$\text{also } P = \frac{b \,.\, h^2}{l} \,.\, \frac{p}{2} \text{ sein.}$$

Es ergibt sich hieraus, daß die Tragfähigkeit oder die Festigkeit eines jeden viereckigen Körpers, z. B. eines Balkens rc., einfach wächst mit der Breite, hingegen im quadratischen Verhältniß seiner Dicke (Höhe), und aber abnimmt mit der Länge.

Ein Balken von doppelter Breite *b* trägt also das Doppelte, hingegen bei doppelter Dicke *h* das Vierfache.

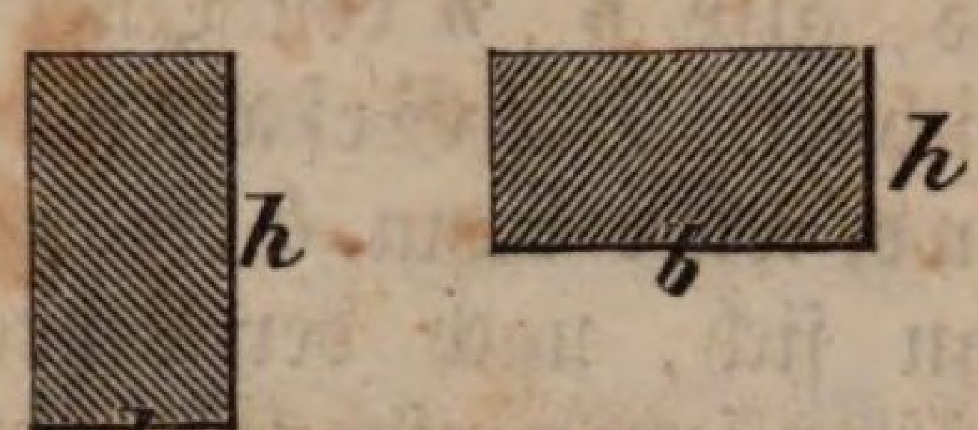
Daraus folgt, daß Balken von quadratischem Querschnitte bei 2facher, 3facher rc. Dicke das 2^3, 3^3, d. i. das 8fache, 27fache rc. tragen.

Ebenso ist es bei Körpern mit kreisrundem Querschnitte.

3) Auf gleiche Weise, wie oben für einen rechteckigen Querschnitt, hat man für andere Formen Ausdrücke für die relative Festigkeit erhalten, wobei aber zu bemerken ist, daß der mittlere Widerstand p einer jeden Faser nicht für alle Querschnittsformen der nämliche ist.

Ist aber K die durch Versuche sowohl, als durch besondere Berechnung ermittelte und für jede Form giltige Widerstandsgröße für die Querschnittseinheit, also der Festigkeitsmodul irgend eines Materials, so findet man für die Größe der an einem Ende aufzunehmenden Last, wenn der Balken am andern Ende gestützt ist:

Fig 59.



1) für Stangen oder Balken von rechteckigem Querschnitte Fig. 59 ist

$$P = \frac{b \,.\, h^2}{l} \cdot \frac{K}{6};$$

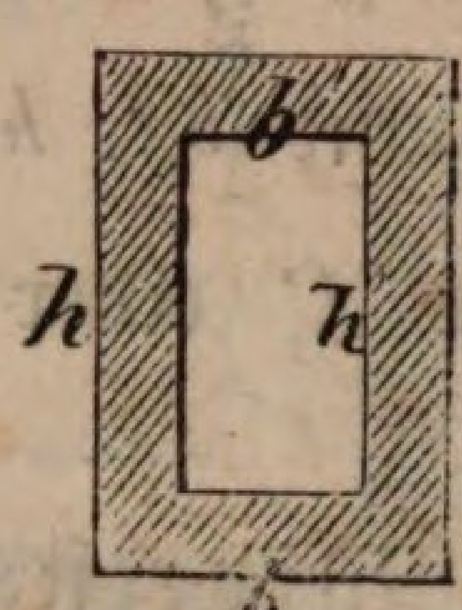
2) bei einem quadratischen Querschnitte, wenn a die Seite bezeichnet,

$$P = \frac{a^3}{l} \cdot \frac{K}{6};$$

Fig. 60.



Fig. 61.



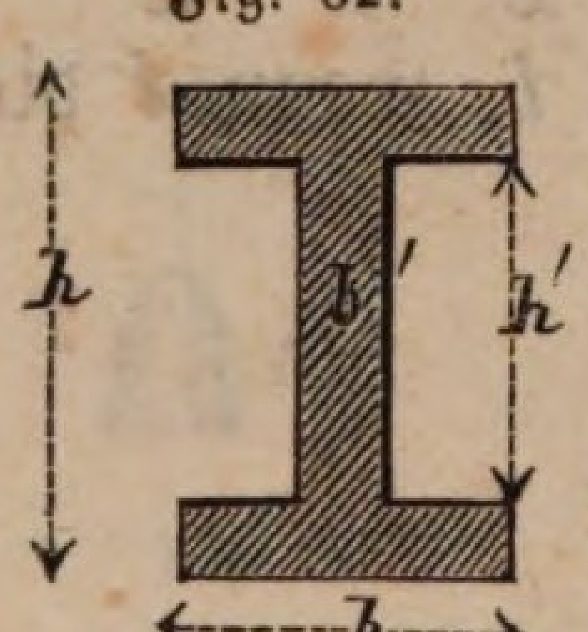
und wenn der Balken die Lage Fig. 60 hat,

$$P = \frac{a^3}{l \,.\, \sqrt{2}} \cdot \frac{K}{6}.$$

3) Für einen rechteckigen hohlen Balken nach Fig. 61 ist

$$P = \frac{(b \,.\, h^3 - b'h'^3)}{h \,.\, l} \cdot \frac{K}{6}.$$

Fig. 62.



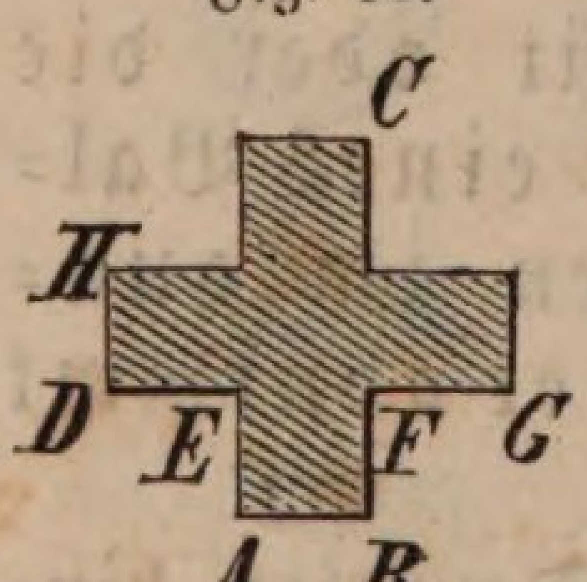
4) Für einen Querschnitt wie Fig. 62 ist

$$P = \frac{b'h'^3 + b\,(h^3 - h'^3)}{h \,.\, l} \cdot \frac{K}{6}.$$

5) Für einen Körper mit kreuzförmigem Querschnitte Fig. 63, wenn $AB = b$, $BC = h$, $DE + FG = b'$ und $DH = h'$ ist, hat man

$$P = \frac{(b \,.\, h^3 + b'h'^3)}{h \,.\, l} \cdot \frac{K}{6}.$$

Fig. 63.



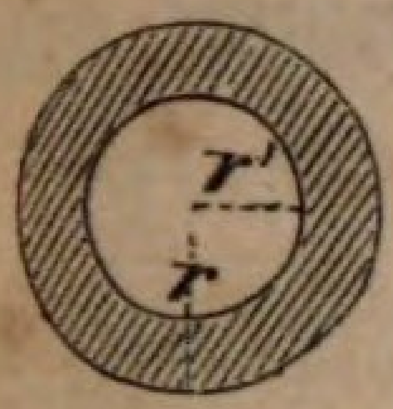
6) Ist der Querschnitt einer massiven Stange ein Dreieck, dessen Grundlinie b und dessen Höhe h heißt, so ist

$$P = \frac{b \,.\, h^2}{l} \cdot \frac{K}{24}.$$

7) Für einen Cylinder, dessen Radius r ist, hat man

$$P = \frac{\pi \,.\, r^3}{l} \cdot \frac{K}{4}.$$

Fig. 64.



8) Ist der Cylinder Fig. 64 hohl und r sein äußerer und r' sein innerer Radius, so ist

$$P = \frac{\pi}{l} \cdot \left(\frac{r^4 - r'^4}{r}\right) \cdot \frac{K}{4}.$$

9) Hat ein Körper einen elliptischen Querschnitt und die Lage Fig. 65, so ist, wenn a die halbe große und b die halbe kleine Axe bezeichnet,

Fig. 65.

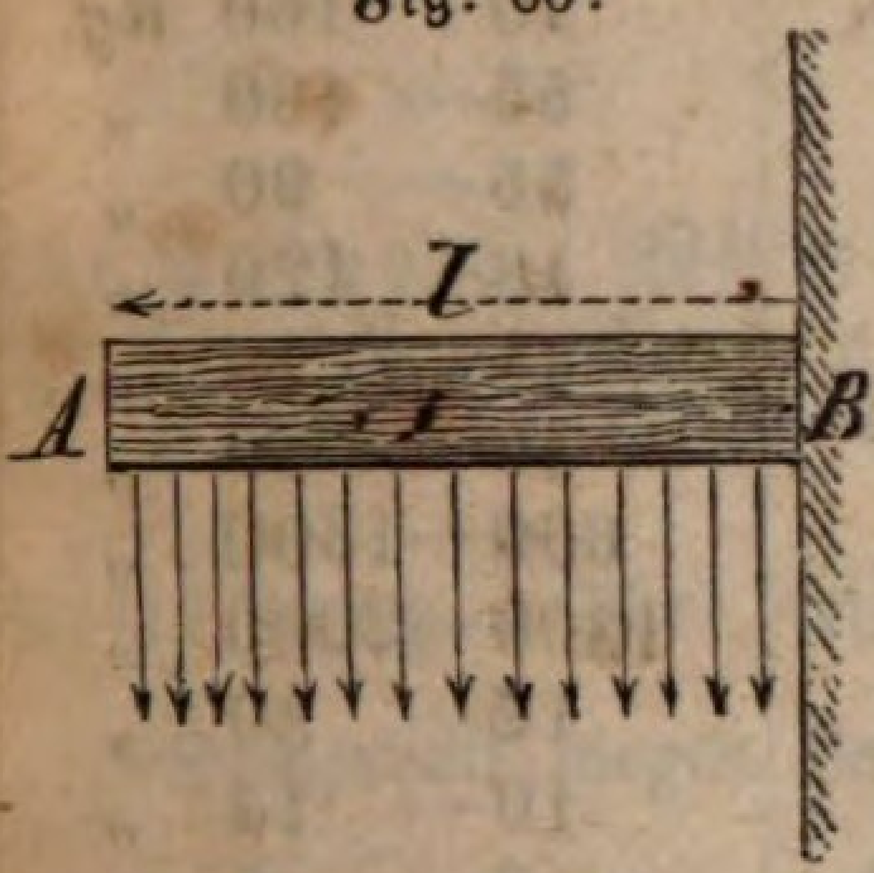


$$P = \frac{\pi \,.\, a^2 \,.\, b}{l} \cdot \frac{K}{4};$$

und wenn der Körper hohl und a' und b' seine innern Halbaxen wären,

$$P = \frac{\pi \,.\, (a^3b - a'^3b')}{l \,.\, a} \cdot \frac{K}{4}.$$

Fig. 66.

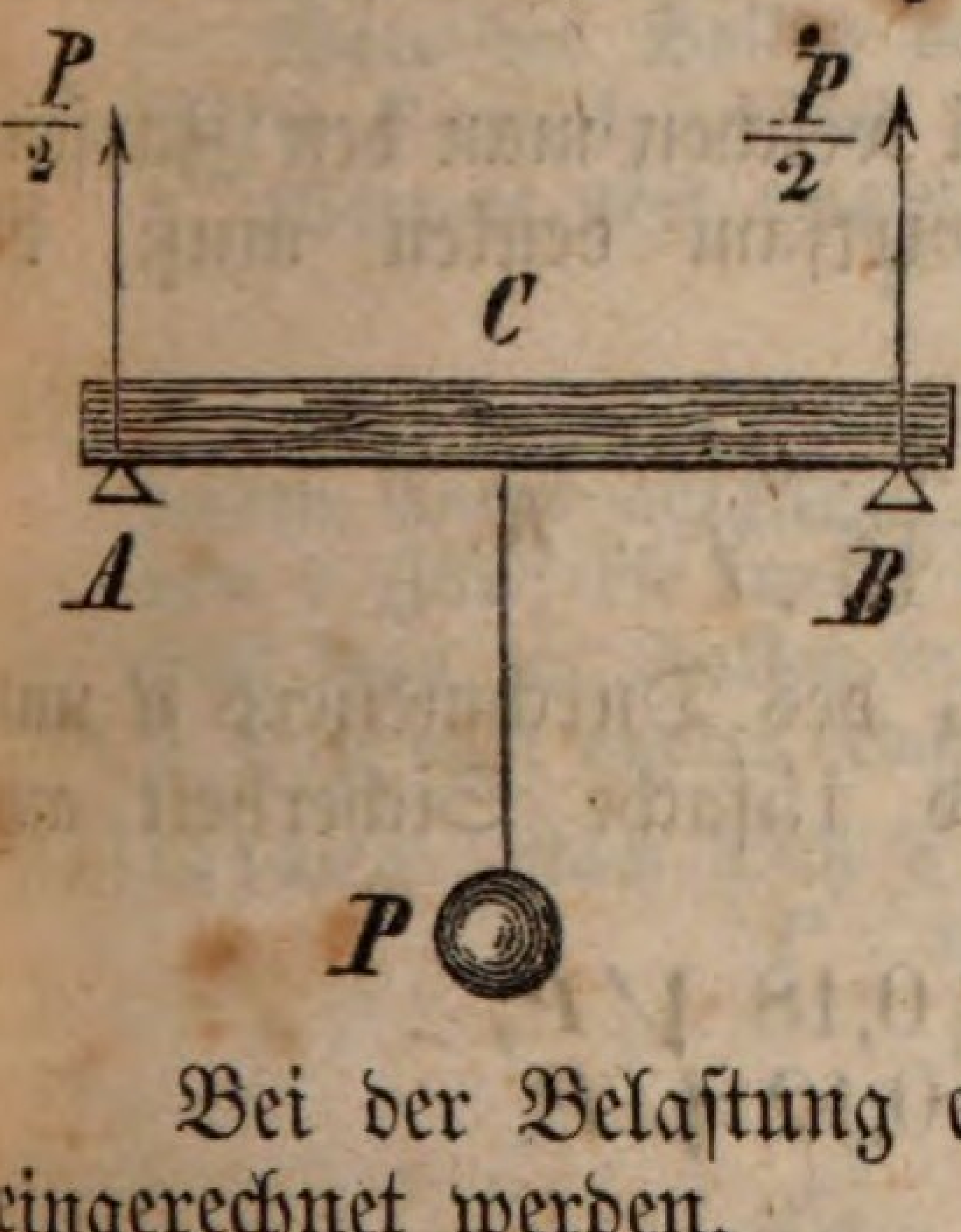


4) Ist die Last P gleichmäßig vertheilt, wie in Fig. 66, so ist es gerade, als wirke sie in der Mitte des Balkens. Ihr Drehungsmoment ist also nur $= \frac{P \,.\, l}{2}$.

Somit trägt der Balken in diesem Fall das *Doppelte*.

Ist ein Balken aber an beiden Enden gestützt, wie in Fig. 67 und in der Mitte belastet, so trägt er das *Vierfache*, und, ist die Last gleichmäßig vertheilt, gar das *Achtfache*. Und wäre ein Balken an den Enden eingemauert, so trägt er noch einmal das Doppelte. Somit kann die gleichförmig über einen Balken vertheilte Last dann das *Sechszehnfache* von dem betragen, was ein Balken an seinem Ende aufnimmt. — Es kommt dies alle Mal daher, daß die Entfernungen des Angriffspunkts der brechenden Kraft vom Dreh- oder Brechungspunkte kleiner werden.

Fig. 67.



Bei der Belastung eines Balkens muß sein eigenes Gewicht immer eingerechnet werden.

5) Nach Vorigem ist also die gleichmäßig vertheilte Last, welche ein viereckiger Balken, der mit beiden Enden aufgelegt ist, aufnehmen kann,

$$P = \frac{8 \,.\, b \,.\, h^2}{l} \cdot \frac{K}{6};$$

und wäre er eingemauert

$$P = \frac{16 \,.\, b \,.\, h^2}{l} \cdot \frac{K}{6}.$$

Ebenso findet man für die in der Mitte anzubringende Belastung eines runden Wellbaums

$$P = \frac{4 \cdot r^3 \cdot \pi}{l} \cdot \frac{K}{4}.$$

u. s. w.

Der Werth des Festigkeitsmoduls K, sowie des Sicherheitsmoduls sind in folgender Tabelle enthalten. Für andere Maße gelten wieder die früher genannten Reductionszahlen.

Tafel

über das Maß der relativen Festigkeit für einen Querschnitt von 1 □ Centimeter.

Namen der Körper.	Festigkeitsmodul K.	Sicherheitsmodul.
Buchenholz	700—1600 *Kg.*	70— 160 *Kg.*
Eichenholz	550—1600 „	55— 160 „
Fichten- oder Rothtannenholz	550— 900 „	55— 90 „
Kiefernholz (Föhre)	480—1200 „	48— 120 „
Tannenholz	480— 960 „	48— 96 „
Ulmenholz	400— 800 „	40— 80 „
Gußeisen	1700—4000 „	600—1300 „
Schmiedeisen	4000—6000 „	1300—2000 „
Kalkstein	48— 120 „	12— 30 „
Sandstein	40— 55 „	10— 14 „
Ziegelstein	13— 23 „	3— 6 „

6) Für die Stärke der Wellzapfen, bei welchen man den Zapfendruck als in der Mitte der Zapfenlänge l wirksam denken muß, ist darum nach Satz 3 und 4

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot r^3}{l} \cdot \frac{K}{4} \text{ d. i. } = \frac{\pi \cdot d^3}{16 \cdot l} \cdot K.$$

Hieraus erhält man, wenn man l zu $^5/_4$ des Durchmessers d und für den Festigkeitsmodul K Mittelwerthe und 15fache Sicherheit annimmt, für Centimeter und Kilogramme:

für gußeiserne Zapfen: $d = 0{,}18 \sqrt{P}$,
für schmiedeiserne Zapfen: $d = 0{,}12 \sqrt{P}$.

Für die Axen der Fuhrwerke soll $d = 0{,}0113 \sqrt[3]{P \cdot l}$ betragen.

7) Nach Früherem muß der stärkste viereckige Balken, den man aus einem runden Stamme behauen kann, einen rechteckigen Querschnitt haben. Dabei muß aber, der Erfahrung und Theorie gemäß, das Verhältniß der Breite zur Dicke wie 5 : 7 sein. Man erhält diesen Querschnitt $AEBF$ des stärksten Balkens, wenn man in Fig. 68 den Durchmesser AB in drei gleiche Theile theilt und in den Punkten C und D Senkrechte errichtet.

Balken von andern Querschnitten *AJBL* oder *AGBH*, Fig. 69, tragen immer weniger.

Fig. 68.

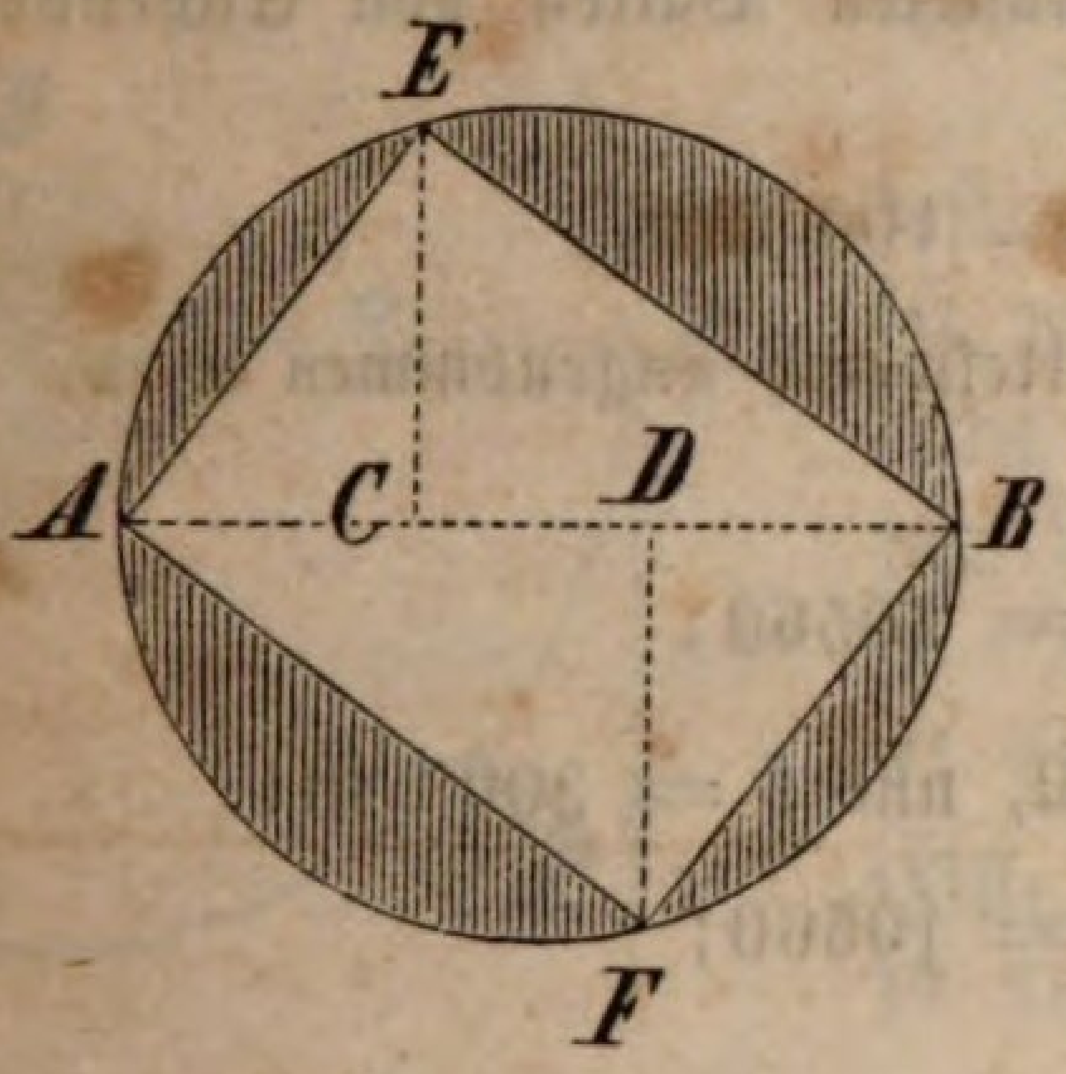
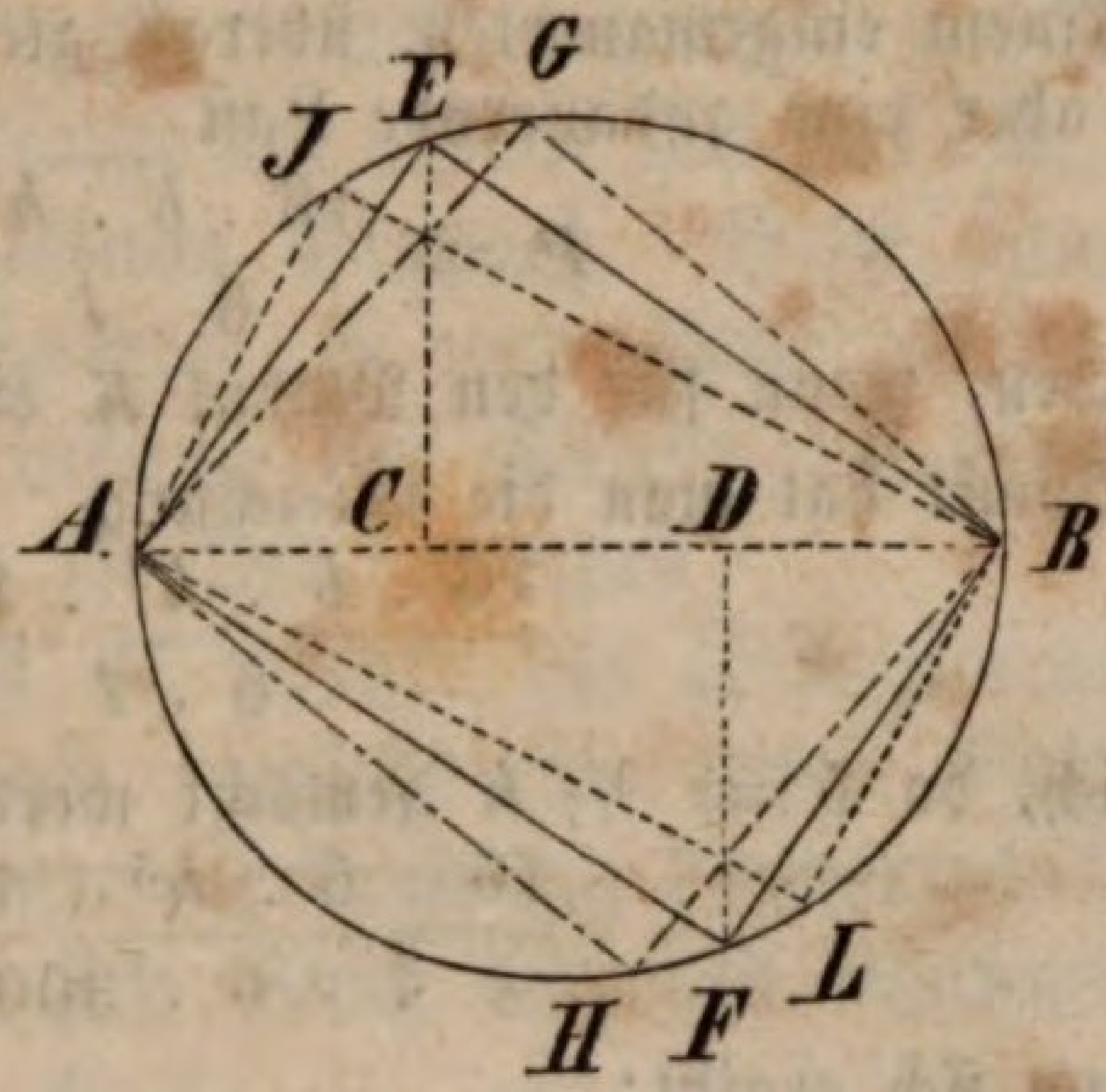


Fig. 69.



Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Last kann ein tannener Balken von 2 Meter Länge, 20 Centimeter Breite und 30 Centimeter Dicke an einem Ende aufnehmen, wenn er mit dem andern Ende eingemauert ist?

Auflösung. Für diesen Fall hat man $P = \frac{b \,.\, h^2}{l} \,.\, \frac{K}{6}$; folglich, wenn K der Sicherheit wegen im Mittel zu 70 *Kg.* angenommen wird,

$$P = \frac{20 \,.\, 30^2 \,.\, 70}{200 \,.\, 6} = 1050 \; Kg.$$

Wäre der Balken an beiden Enden gestützt und in der Mitte belastet, so dürfte $P = 4 \,.\, 1050 = 4200$ *Kg.* sein.

Wäre er aber eingemauert, so hätte man

$$P = 8 \,.\, 1050 = 8400 \; Kg.$$

2te Aufgabe. Ein 8 bad. Fuß langer hohler gußeiserner Balken ist mit seinen beiden Enden aufgelegt, und hat eine äußere Breite von 5 Zoll und eine Höhe von 7 Zoll; die innere Breite und Höhe betragen 3 Zoll und 5 Zoll; welche Last kann der Balken in einem Punkte, der 3 Fuß von dem einen und also 5 Fuß vom andern Ende entfernt ist, für die Dauer ertragen?

Auflösung. Nach Satz 3, 4, 5 ist

$$\frac{P \,.\, m \,.\, n}{l} = \frac{(bh^3 - b'h'^3)}{h} \,.\, \frac{K}{6};$$

$$\text{also} \quad P = \frac{(bh^3 - b'h'^3) \,.\, K \,.\, l}{6 \,.\, m \,.\, n \,.\, h};$$

folglich für badische Maße, wenn der Sicherheitsmodul im Mittel zu 1000 *Kg.*, d. i. für badische Maße zu 18000 Pfd. angenommen wird,

$$P = \frac{(5 \,.\, 7^3 - 3 \,.\, 5^3) \; 18000 \cdot 80}{6 \,.\, 30 \,.\, 50 \,.\, 7} = 30628 \text{ Pfd.}$$

3te Aufgabe. Welche Dicke und Breite sollen die eichenen Balken eines Getreidemagazins erhalten, wenn dieselben bei einer Länge von 30′ bad. an beiden Enden eingemauert sind, und das Verhältniß der Breite zur Höhe nach Satz 7 wie 5 : 7 gemacht wird?

Auflösung. Nimmt man das specifische Gewicht des Getreides zu 0,776 an, is ferner das Getreide im höchsten Falle auf 3′ Höhe aufgeschüttet, und sind di Balken von Mittel zu Mittel 2,8′ von einander entfernt, so hat jeder Balke das Gewicht einer Fruchtmasse von 30 . 2,8 . 3 = 252 Kubikfuß, also ein Last von 252 . 0,776 . 54 = 10560 Pfd. zu tragen.

Einem eingemauerten, überall gleich belasteten Balken von Eichenholz kan man aber eine andauernde Last

$$P = \frac{16 \cdot b \cdot h^2}{6 \cdot l} \cdot 18 \cdot 100 \text{ Pfd.}$$

aufladen, wenn für den Modul K ein Mittelwerth angenommen wird.

Somit hat man die Gleichung

$$\frac{16 \cdot b \cdot h^2 \cdot 1800}{6 \cdot l} = 10560;$$

folglich, da $b = {}^5/_7\, h$ gemacht werden soll, und $l = 300''$ ist:

$$\frac{16 \cdot 5 \cdot h^3 \cdot 1800}{7 \cdot 6 \cdot 300} = 10560;$$

woraus sich ergibt:

$$h^3 = 924; \text{ also } h = 9{,}74 \text{ Zoll,}$$

$$\text{und daher } b = {}^5/_7 \cdot 9{,}74 = 7 \text{ Zoll ungefähr.}$$

4te Aufgabe. Welche Last, mit Einrechnung des eigenen Gewichts, kann ein, au beiden Enden gestützter gußeiserner Tragbalken von der Form Fig. 62 in seiner Mitte aufnehmen, wenn $h = 12''$ preuß., $b = 10''$, $h' = 8''$, $b' = 3''$ und die Länge $l = 30'$ ist?

Auflösung. Nach Satz 3, 4 und 5 hat man für diesen Fall

$$P = 4 \cdot \frac{b' h_1^3 + b\,(h^3 - h'^3)}{h \cdot l} \cdot \frac{K}{6}.$$

Nimmt man K zu 1000 $Kg.$ an, so hat man für preuß. Maß

$$P = 4 \cdot \frac{3 \cdot 8^3 + 10\,(12^3 - 8^3)}{12 \cdot 360} \cdot \frac{13{,}68 \cdot 1000}{6}$$

$$\text{d. i. } P = \frac{1536 + 12160}{1080} \cdot 2280 = 28913 \text{ Zollpfd.;}$$

wovon aber das eigene Gewicht noch abzuziehen ist.

5te Aufgabe. Welche Dicke und Länge müssen die gußeisernen Zapfen einer Wasserradwelle erhalten, wenn das Rad sammt Welle 20000 $Kg.$ wiegt und $4^1/_2$ Kubikmeter Wasser hält?

Auflösung. Befindet sich das Rad in der Mitte der Welle, so hat jeder Zapfen die Hälfte der Gesammtbelastung zu tragen. Letztere ist aber

$$= 20000 + 4{,}5 \cdot 1000 = 24500 \; Kg.$$

Somit ist die Belastung eines Zapfens $P = 12250$ $Kg.$, und folglich nach Satz 6

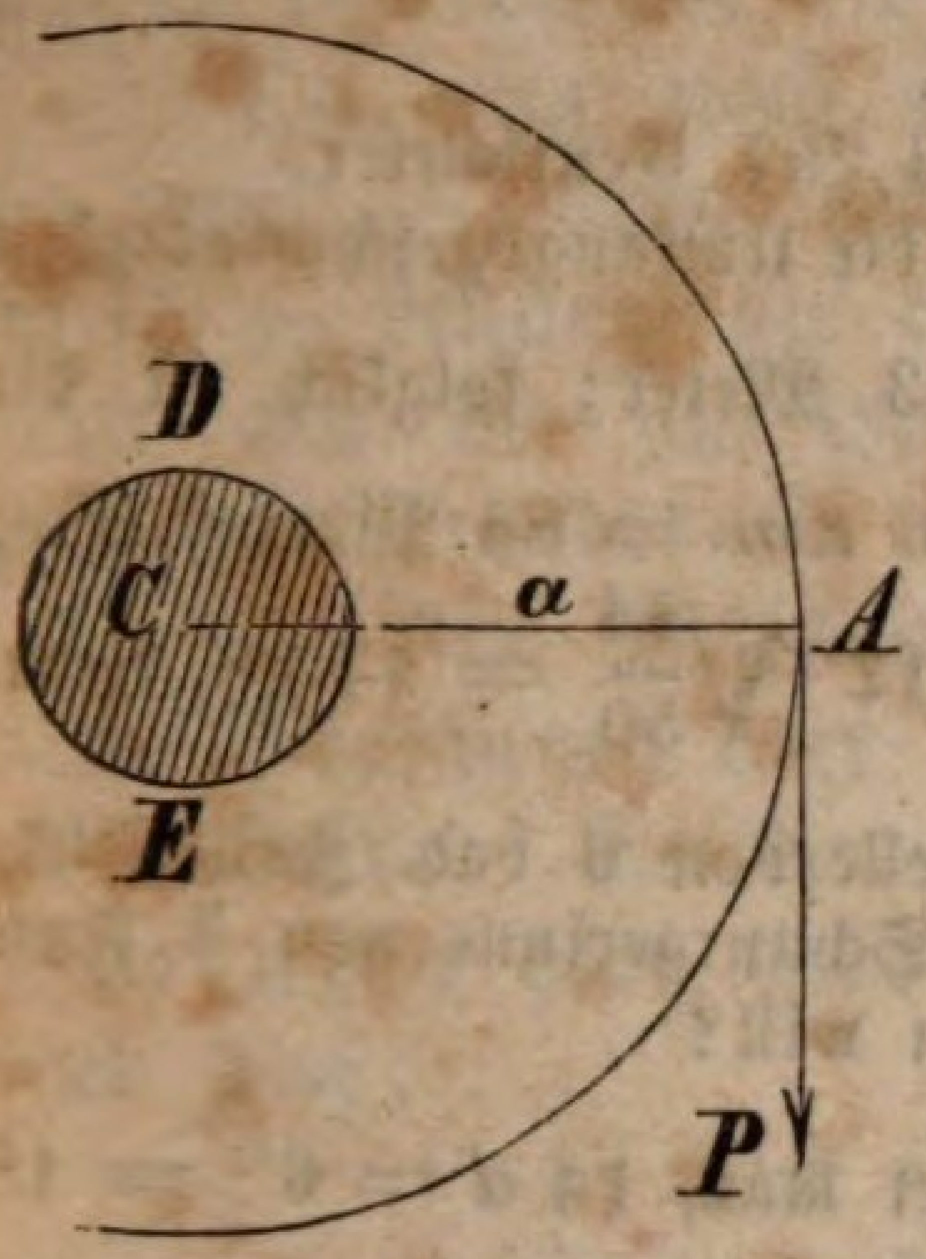
$$d = 0{,}18 \sqrt{12250} = 19{,}92 \text{ und } l = {}^5/_4 \cdot 19{,}92 = 24{,}9 \text{ Centimeter.}$$

Fällt die Mittelkraft der sämmtlichen Belastungen nicht in das Wellenmittel, so sucht man nach V. 8 den auf jeden Zapfen kommenden Druck.

d. Von der Festigkeit gegen das Zerdrehen.

1) Der Widerstand der Wellen und Spindeln ꝛc. gegen Zerdrehung, d. i. ihre Torsionsfestigkeit wächst auch, wie die relative Festigkeit, mit der 3ten Potenz ihrer Durchmesser. Bei einem doppelten

Fig. 70.



Durchmesser sind nämlich viermal soviel Fasern vorhanden und diese bieten in doppelter Entfernung auch noch einen doppelten Widerstand gegen Drehung; es ist also der Widerstand der Welle von doppeltem Durchmesser das $2^3 = 8$fache.

Die Länge der Welle hat auf die Drehungsfestigkeit keinen Einfluß. Eine längere Welle ist wohl leichter zu zerdrehen; allein die eigentliche Verrückung der Fasern bei einer bestimmten Länge ist keine andere.

2) Ist K wieder der Festigkeitsmodul und P die Kraft, welche in einer Entfernung a, Fig. 70, eine Zerdrehung hervorzubringen sucht, so ergiebt sich durch höheres Rechnen:

$$P \cdot a = \pi \cdot r^3 \cdot \frac{K}{2} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \cdot K,$$

und hieraus $P = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot K}{16\, a}$, und $d = \sqrt[3]{\frac{16\, P \cdot a}{\pi\, K}}$.

3) Für Centimeter und Kilogramm ist

für Eichenholz . . . . $K = 280$ Kg.,
" Schmiedeisen . . . . . . $K = 4500$ "
" Gußeisen . . . . $K = 3000$ "

Setzt man diese Werthe und nimmt bei Schmiedeisen 20fache und bei Gußeisen 33fache Sicherheit und zieht die Wurzel aus den bekannten Größen, so erhält man

$$\left.\begin{array}{ll} \text{für schmiedeiserne Wellen} & d = 0{,}29 \sqrt[3]{P\,a}; \\ \text{" gußeiserne "} & d = 0{,}385 \sqrt[3]{P\,a}. \end{array}\right\} \text{(I)}$$

4) Oft bestimmt man auch den Durchmesser nach der übertragenen Arbeitsgröße, ausgedrückt in Pferdekräften $N = 75$ Km. und der Umdrehungsanzahl n per Minute.

Dann ergibt sich in Centimeter

$$\left.\begin{array}{ll} \text{für schmiedeiserne Wellen} & d = 12 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}! \\ \text{" gußeiserne "} & d = 16 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}. \end{array}\right\} \text{(II)}$$

Wellen aus Eichenholz macht man etwa $2\frac{1}{4}$ mal dicker als gußeiserne.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Wie dick muß eine schmiedeiserne Radwelle gemacht werden, wenn im Zahnkranze eines auf derselben sitzenden Zahnrades von 2 Meter Durchmesser eine Kraft von 1200 *Kg.* wirksam ist?

Auflösung. Es ist für Schmiedeisen $d = 0{,}29 \sqrt[3]{Pa}$; folglich, da $a = 1$ Meter = 100 Centimeter ist,

$$d = 0{,}29 \sqrt[3]{1200 \cdot 100} = 0{,}29 \cdot 49{,}3 = 14{,}297 \text{ Centimeter.}$$

Macht die Welle per Minute 50 Umgänge, so ist die Umfangsgeschwindigkeit des Rades $= \frac{d \cdot \pi \cdot 50}{60} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 5}{6} = 5{,}233$ Meter; folglich ist die vom Rad übertragene Arbeit $= 1200 \cdot 5{,}233 = 6280$ *Km.* = 84 Pferdekräfte; und somit nach Formel II der Wellendurchmesser $d = 12 \sqrt[3]{\frac{84}{50}} = 14{,}28$ Cent.

2te Aufgabe. Welche Kraft kann eine gußeiserne Welle von 6 bad. Zoll Dicke aushalten, wenn jene, an einer Scheibe oder einem Schnurgerinne von 3 Fuß Durchmesser wirksam, die Welle in Drehung versetzen will?

Auflösung. Aus dem Ausdruck $d = 0{,}385 \sqrt[3]{Pa}$ findet man, da $d = 6'' = 18$ und $a = 3 \cdot 15 = 45$ Centimeter ist,

$$P = \frac{d^3}{0{,}385^3 \cdot a} = \frac{18^3}{0{,}385^3 \cdot 45} = 2271 \text{ } Kg. = 4542 \text{ Pfd.}$$

IX. Von den mechanischen Potenzen oder Elementarmaschinen.

1) Grundgesetz der Wirksamkeit der Maschinen. Durch eine Maschine kann keine mechanische Arbeit erzeugt werden. Die Maschine überträgt nur eine empfangene Arbeit in zweckdienlicher Weise in der Art, daß die mitgetheilte Arbeitsgröße eine Umsetzung in andere Faktoren erfährt. Jede Arbeitsgröße ist nach Abschn. IV. 5 ein Produkt aus der Kraft P und den bei ihrer Wirkung zurückgelegten Weg s ihres Angriffspunktes. Zweck der Maschine ist nun, dieses Produkt so umzusetzen, daß entweder die am Ende ausgeübte Kraft oder die sogen. Last*) größer als P ist, oder daß der Lastpunkt einen größern Weg, als der Kraftangriffspunkt zurücklegt. Jede Vergrößerung des einen Faktors hat aber immer die gleichmäßige Verringerung des andern zur Folge.

Ist Q die überwundene (gehobene) Last und s' der Weg, den sie zurücklegt, während die Kraft P auf dem Wege s thätig ist, so muß, ohne Bewegungshindernisse,

$$P \cdot s = Q \cdot s' \text{ sein;}$$

d. h. die Arbeit der Kraft muß der durch Ueberwindung der Last auf ihrem Wege s' verrichteten Arbeitsgröße gleich sein.

Oder es verhält sich

$$P : Q = s' : s;$$

d. h. die Kräfte (Kraft und Last) stehen im umgekehrten Ver-

*) Man bezeichnet mit dem Worte Last gemeinhin den am arbeitenden Punkt überwundenen Widerstand.

hältniß wie ihre Wege; oder, wie man zu sagen pflegt, man verliert soviel an Geschwindigkeit, als man an Kraft gewinnt.

Da nun noch überall Bewegungshindernisse zu überwinden sind, so muß — wenn auch mit geringer Kraft eine große Last gehoben wird — dennoch die von der Triebkraft verrichtete Arbeitsgröße größer sein als die am Ende ausgeübte Arbeit. — Unmöglichkeit des perpetuum mobile! —

2) Alle Maschinen sind nun entweder an und für sich schon einfache Maschinen oder sie sind Verbindungen dieser sogen. Maschinenelemente. Solcher einfachen Maschinen, die man auch mechanische Potenzen oder Elementarmaschinen nennt, gibt es sechs. Es sind dies:

1) Der Hebel,
2) das Wellrad,
3) die Rolle,
4) die schiefe Ebene,
5) der Keil und
6) die Schraube.

Eigentlich gibt es nur zwei Maschinenelemente: der Hebel und die schiefe Ebene. Denn das Wellrad und die Rolle sind nur besondere Formen des Hebels, und ebenso sind der Keil und die Schraube eigene Arten von schiefen Ebenen.

Das obige Grundgesetz über das Verhältniß zwischen Kraft und Last für den Gleichgewichtszustand läßt sich nun bei den einzelnen Maschinenelementen in anderer Form ausdrücken, wie in Folgendem gezeigt wird.

1) Vom Hebel.

1) Wo Kräfte einen Körper um einen festen Punkt, den Stützpunkt, zu drehen suchen, wirken sie an einem Hebel. Man stellt sich den Hebel am einfachsten so vor, daß man denkt, er bestehe aus einer oder zwei geraden oder gebrochenen Linien (den Hebelarmen), welche die Angriffspunkte der Kräfte mit dem Stützpunkt verbinden.

Man unterscheidet demnach geradlinige Hebel, Fig. 71, und Winkelhebel, Fig. 72. — Der geradlinige Hebel ist entweder wieder

Fig. 71.

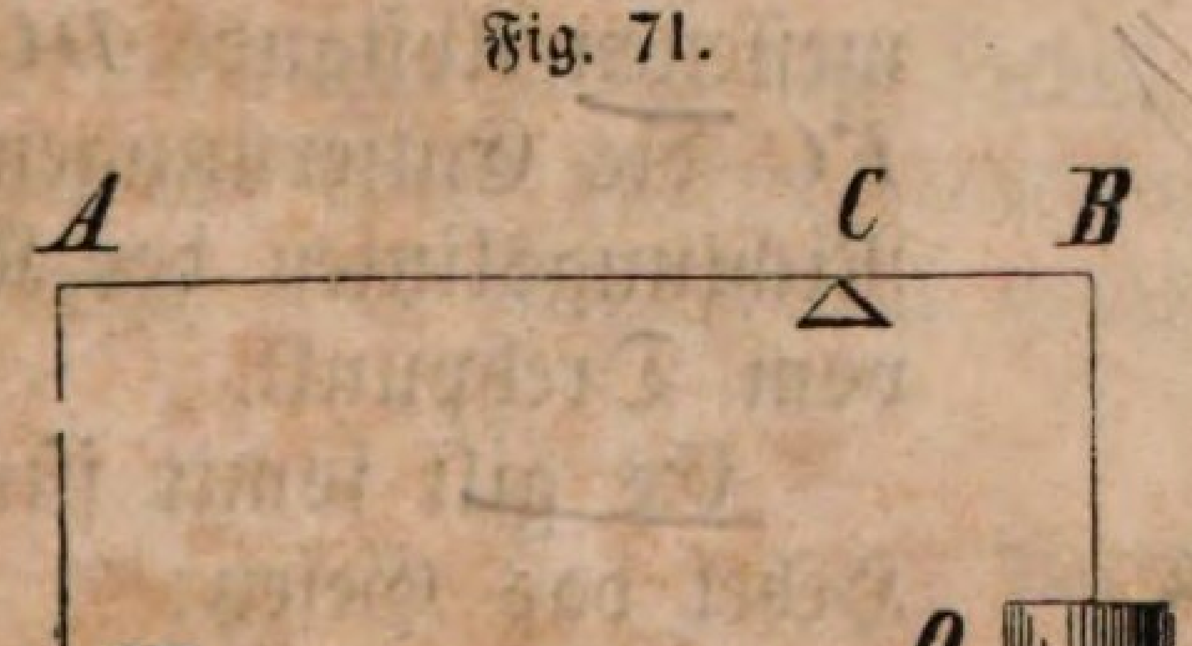
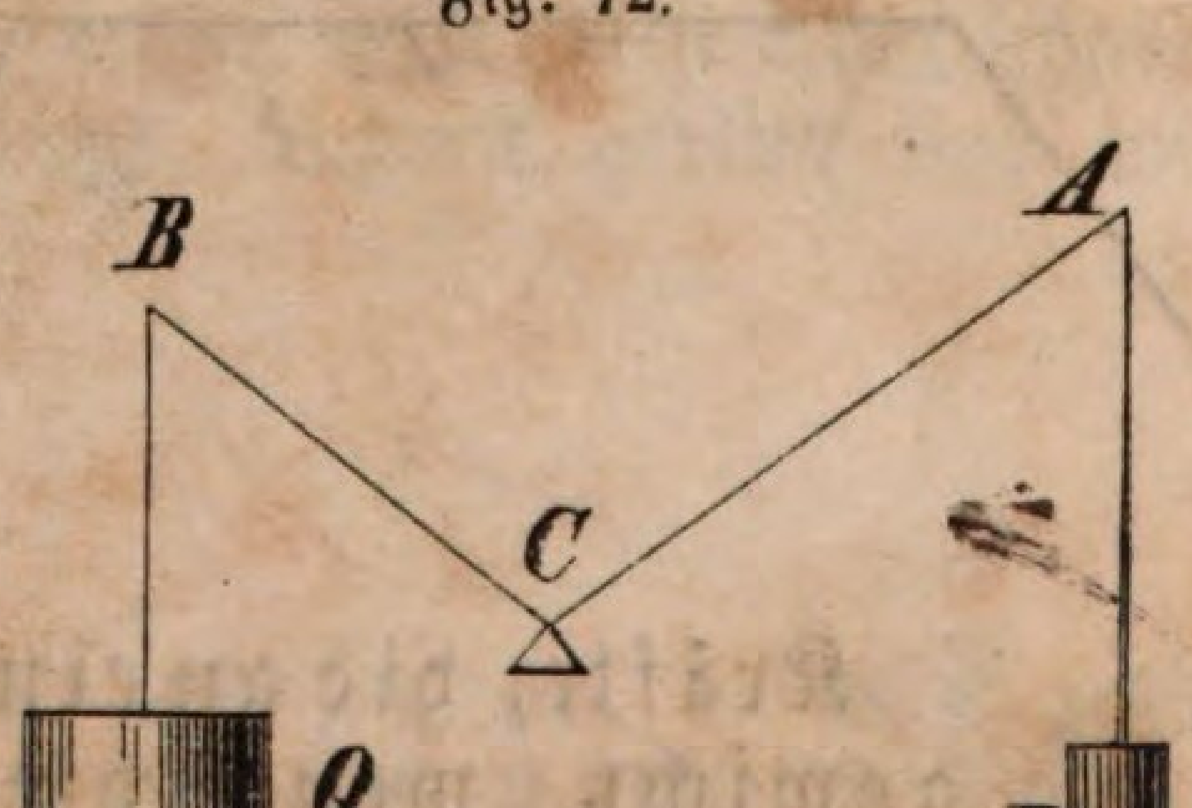


Fig. 72.



ein *zweiarmiger*, wie Fig. 71 oder ein *einarmiger*, Fig. 73. Jener kann wieder ein *gleicharmiger*, wie Fig. 74 oder ein *ungleicharmiger*, wie Fig. 71 sein.

Fig. 73.

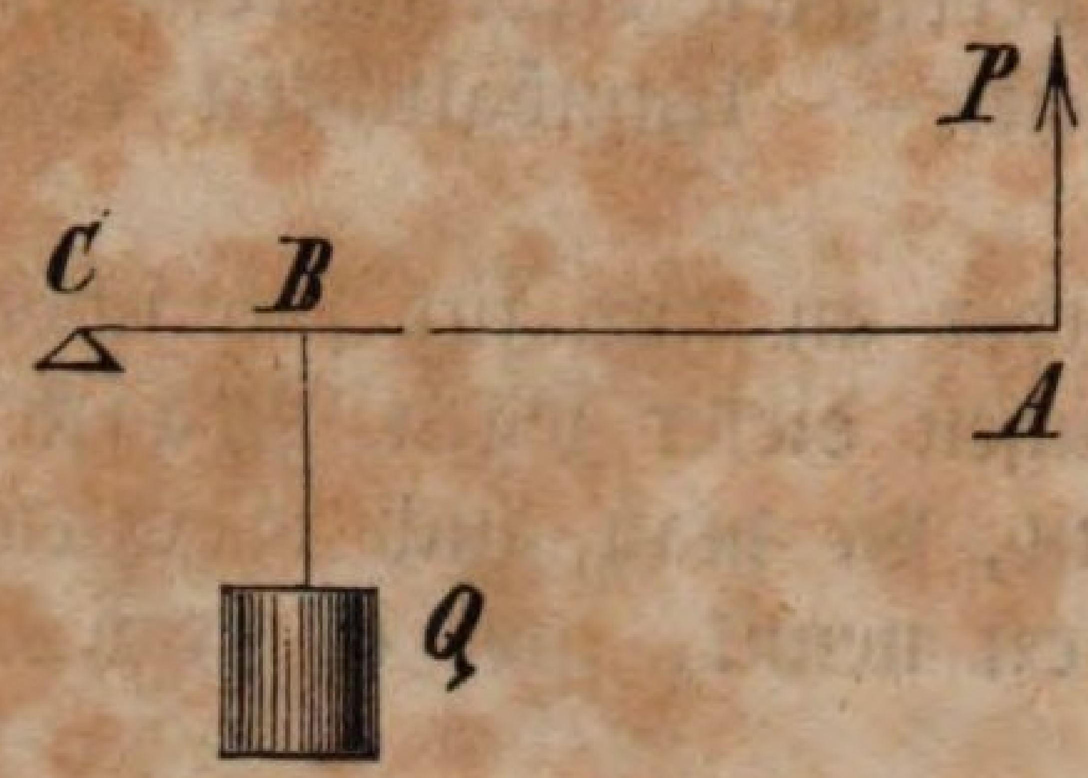
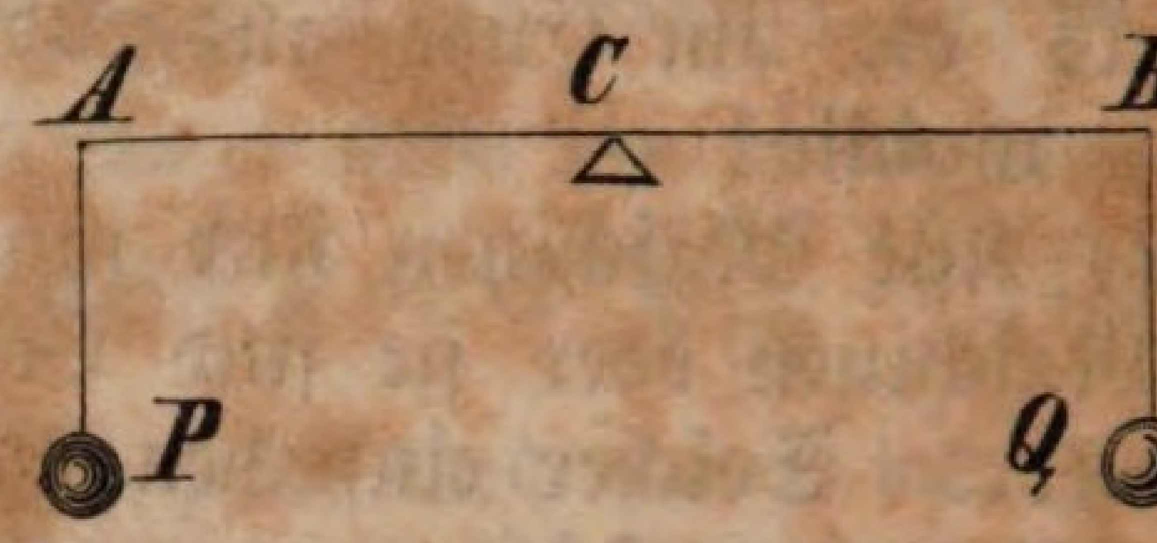
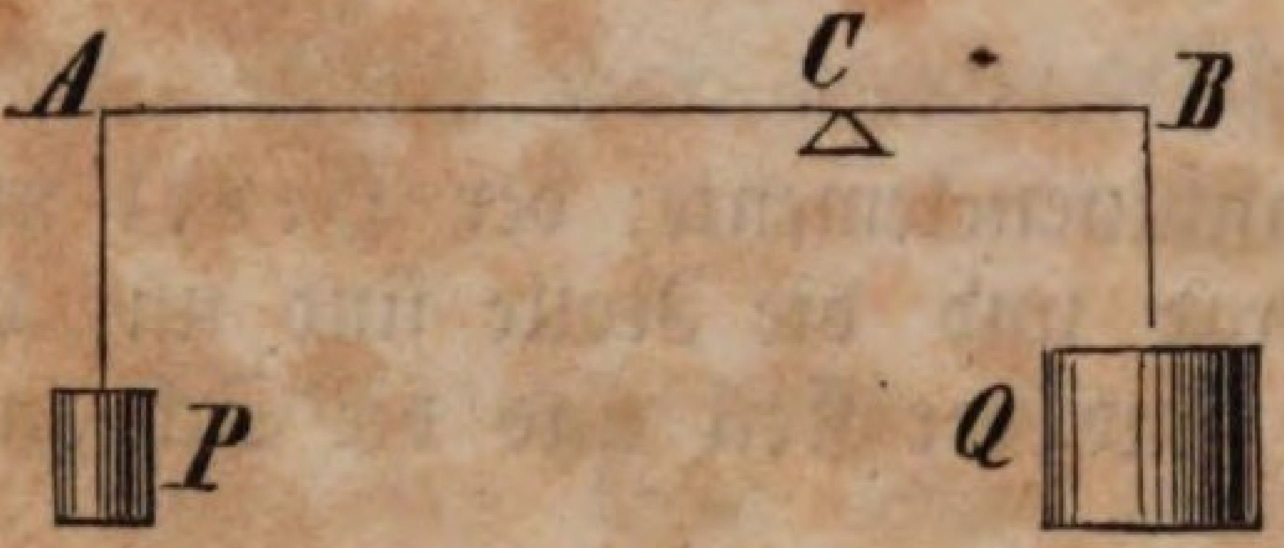


Fig. 74.



2) Bei dem gleicharmigen Hebel, Fig. 74, müssen natürlich die beiden drehenden Kräfte (Kraft und Last) gleich sein. Beim ungleicharmigen Hebel aber kann eine kleinere Kraft eine große im Gleichgewicht halten, wenn die erste an einem *längern Hebelarm*, d. h. in größerer Entfernung vom Drehpunkte wirkt. Und zwar könnte in Fig. 75, wenn **AC** drei Mal länger als **BC** wäre, nach Abschn. V. a. 10. die Last **Q** das *Dreifache* von **P** betragen.

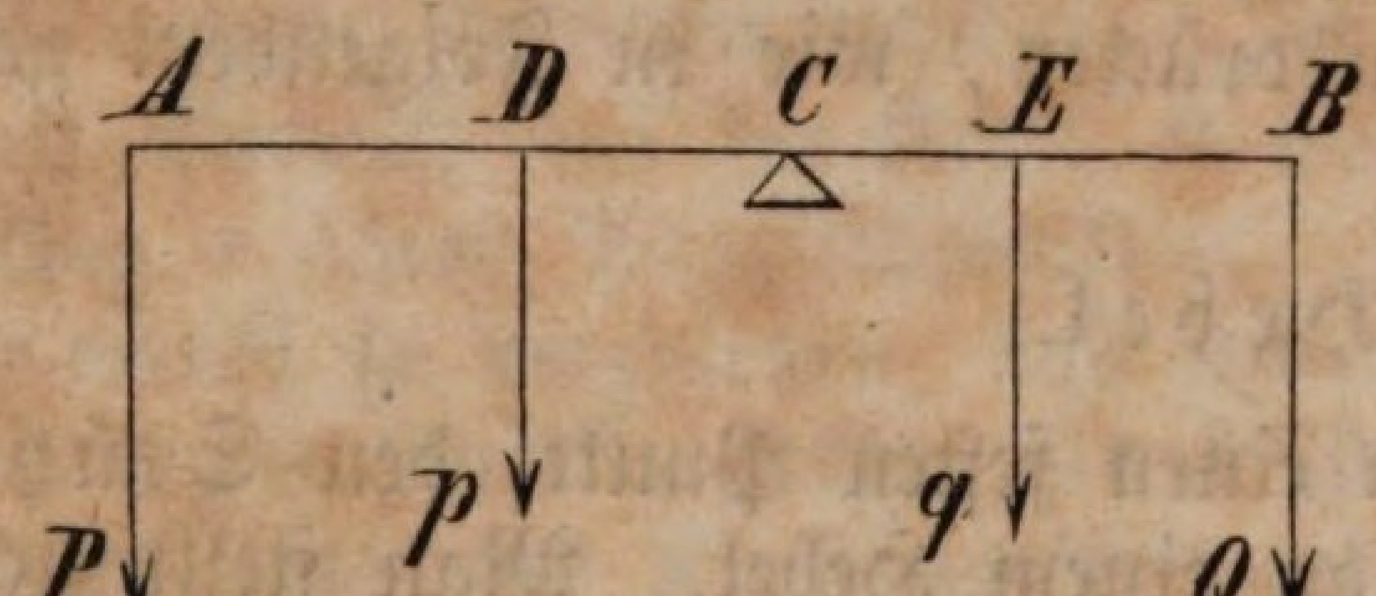
Fig. 75.



Oder allgemein, es ist für's Gleichgewicht:

$$P \,.\, AC = Q \,.\, BC.$$

Fig. 76.

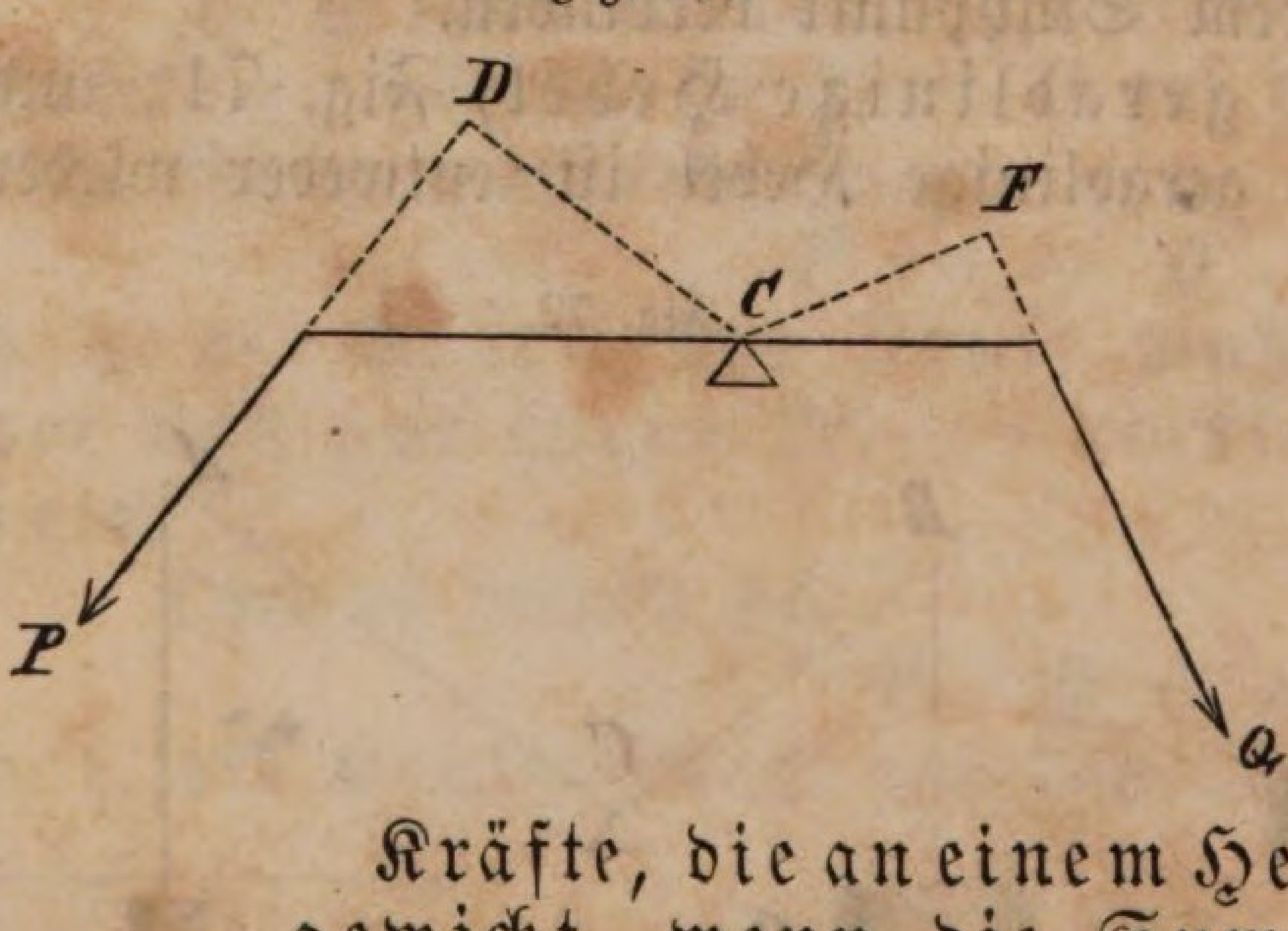


Ebenso wenn, wie in Fig. 76, mehrere Kräfte je auf einer Seite des Stützpunktes wirken, muß für's Gleichgewicht

$$P \,.\, AC + p \,.\, DC = Q \,.\, BC + q \,.\, EC$$

sein.

Fig. 77.



Wären die Richtungslinien der Kräfte nicht parallel, wie in Fig. 77, so sind die rechtwinkelig gemessenen Abstände **DC** und **FC** die Entfernungen der Richtungslinien der Kräfte vom Drehpunkt.

Es gilt somit für den Hebel das Gesetz:

Kräfte, die an einem Hebel wirken, sind im Gleichgewicht, wenn die Summe der Produkte aus den Kräften in die rechtwinkeligen Entfernungen ihrer

Richtungslinien vom Stützpunkte an beiden Hebelarmen gegenseitig gleich sind; oder auch nach V. a. 10, wenn ihre statischen Momente einander gleich sind.

Von zwei Kräften, die am Hebel im Gleichgewichte sind, kann man auch sagen, daß sie sich zu einander umgekehrt verhalten, wie ihre Hebelarme.

3) Für den einarmigen Hebel, Fig. 78 und 79 gilt ganz das nämliche. Man multiplizirt jede Kraft mit ihrem rechtwinkeligen Abstand vom Stützpunkt, und es müssen dann die erhaltenen Produkte gleich sein.

Fig. 78.

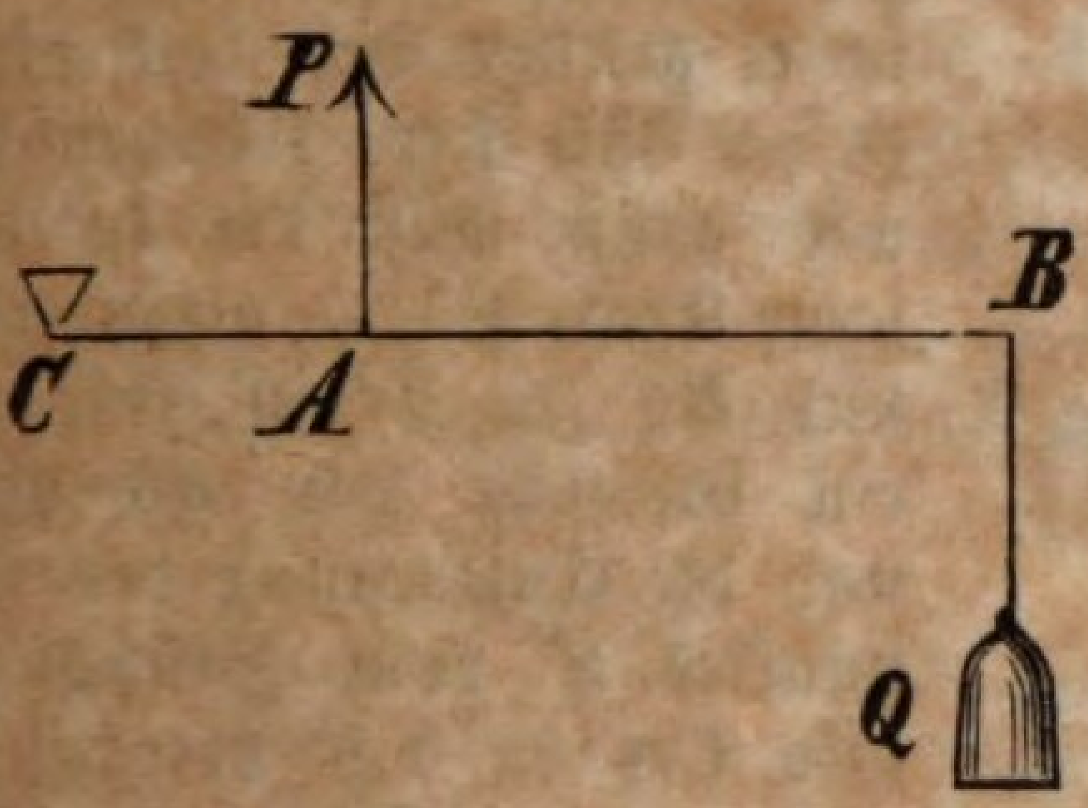


Fig. 79.

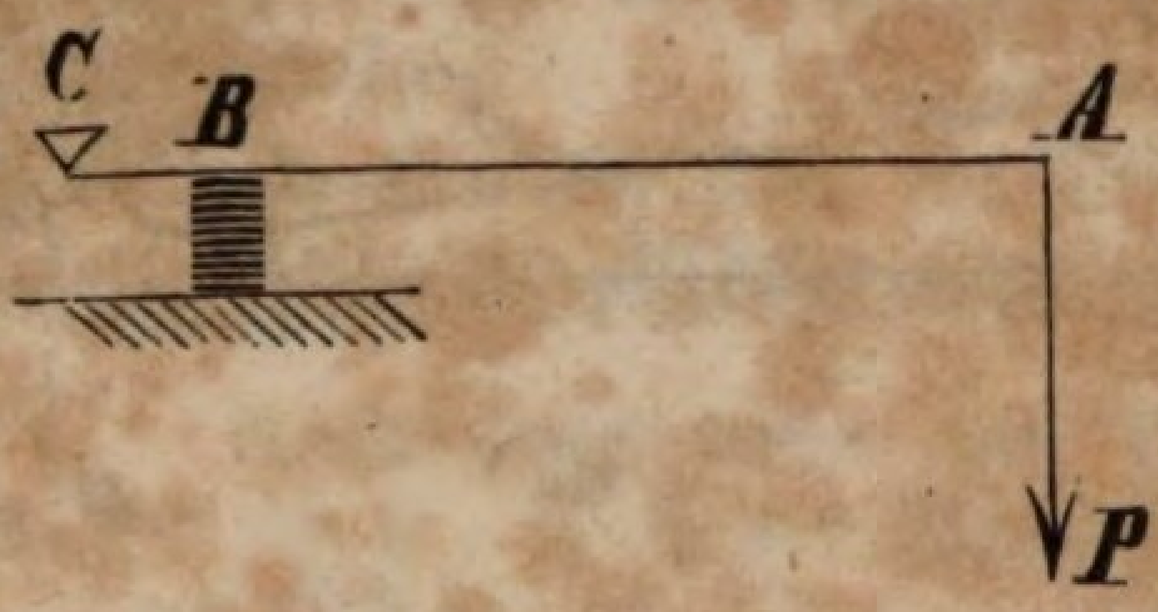
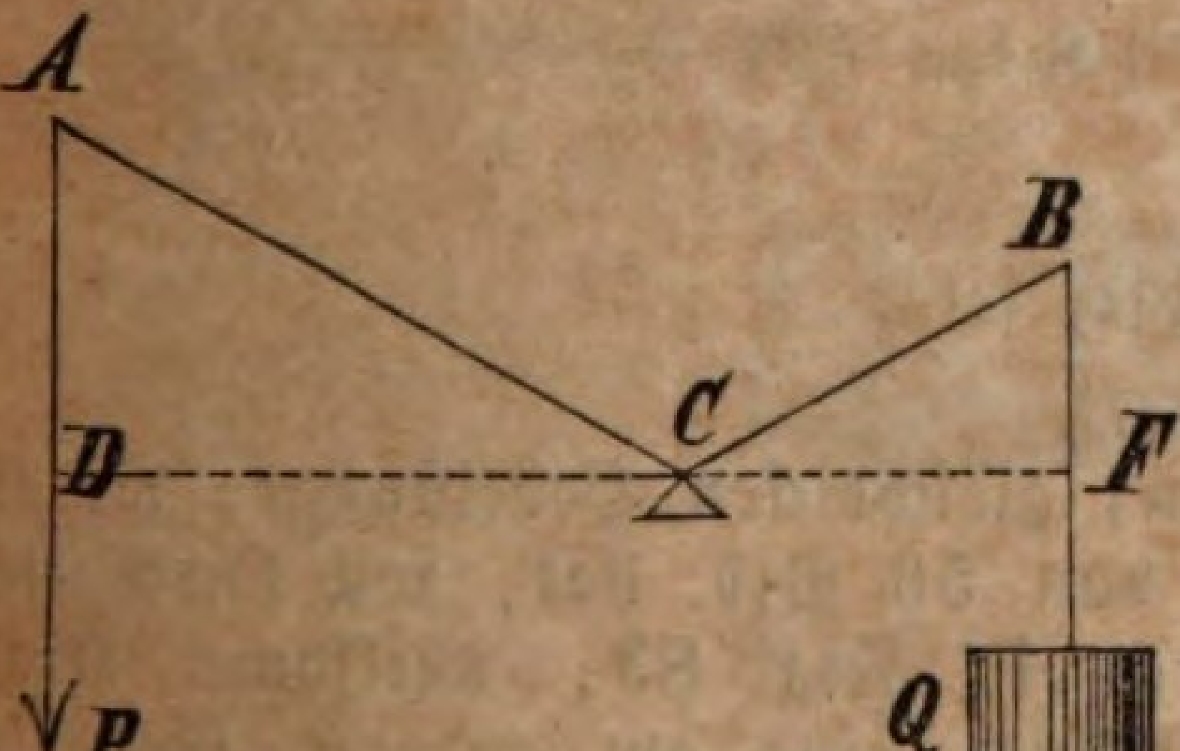


Fig. 80.



Ebenso nimmt man bei dem Winkelhebel, Fig. 80, die rechtwinkeligen Abstände *CD* und *CF* in Rechnung.

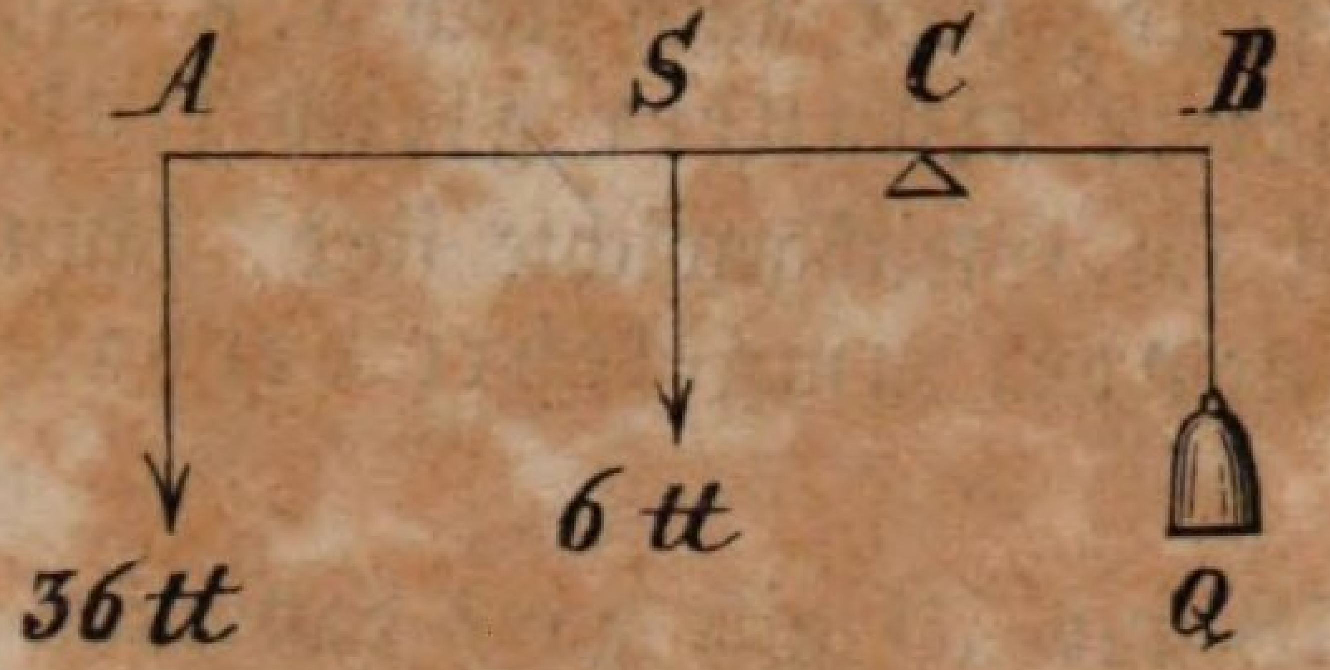
4) Auf den Hebel gründen sich die Wirkungen der Brech- und Hebeisen, Hebeladen, Zangen, Scheeren, Hackmesser und insbesondere die Wagen. Bei der Berechnung eines wirklichen oder physischen Hebels ist noch das eigene Gewicht zu berücksichtigen. Dasselbe muß man als im Schwerpunkte wirksam denken, oder auch man reduzirt das Gewicht auf den Aufhängepunkt der Last, indem man dort den Hebel an eine Wage hängt und den verursachten Zug ermittelt. Gewöhnlich aber ist das eigene Gewicht durch die Construction schon ausgeglichen, wie z. B. bei den Wagen.

Die Reibung ist bei dem Hebel, da er immer vermittelst einer scharfen Schneide auf einer harten Unterlage aufliegt, äußerst gering und wird darum auch stets außer Acht gelassen.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. An einem ungleicharmigen Hebel *AB* Fig. 81, der in *C* gestützt ist, wirkt in *A* eine Kraft $P = 36$ Pfd., welche Last *Q* kann im Punkte *B* im Gleichgewichte erhalten werden, wenn $AC = 12{,}5''$; $BC = 4''$, und wenn die überall gleichdicke Stange *AB* 6 Pfd. schwer ist?

Fig. 81.



Auflösung Es muß nach den letzten Sätzen

$$P \,.\, AC + G \,.\, SC = Q \,.\, BC$$ sein;

also, weil

$$SC = SB - BC = \frac{16,5}{2} - 4 = 4,25''$$

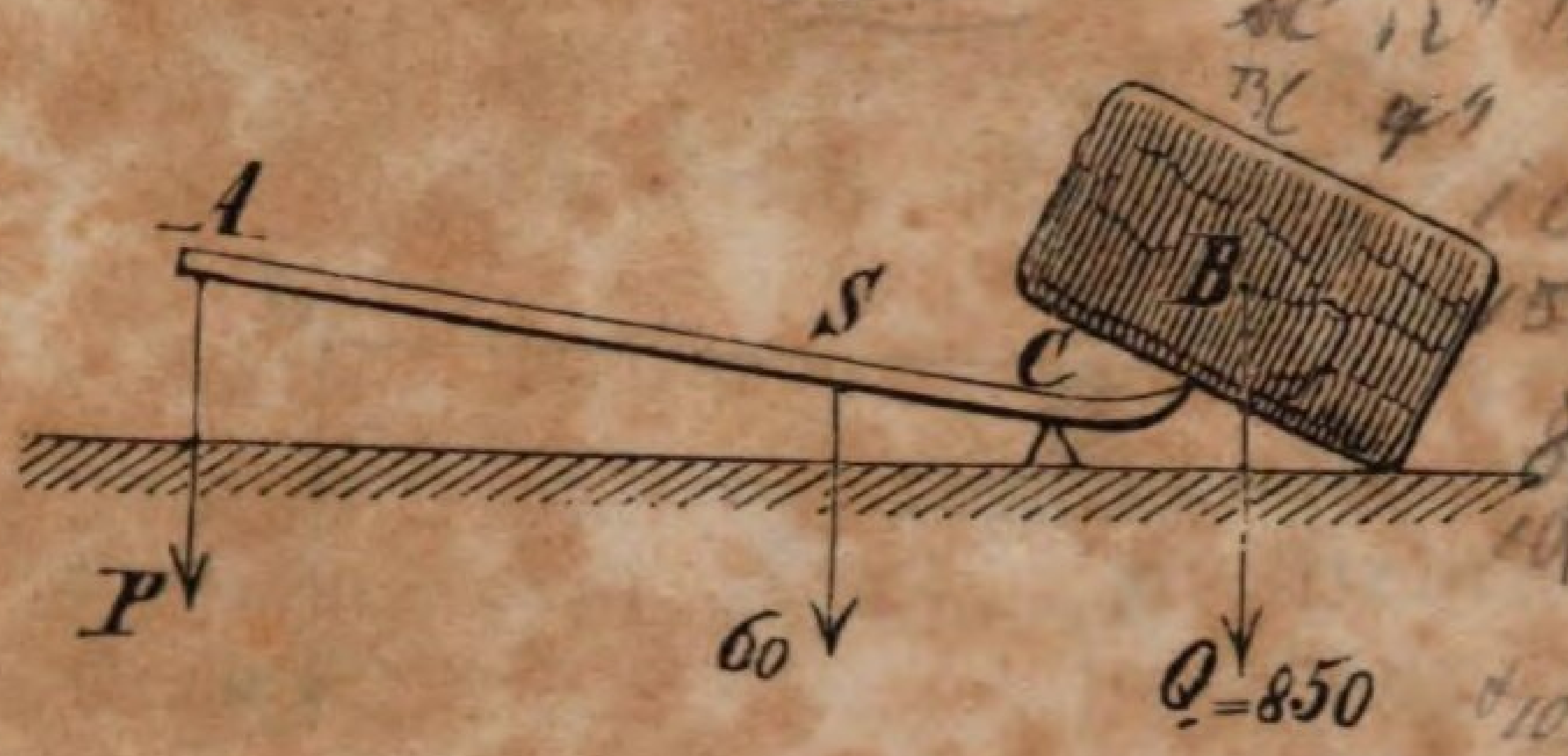
ist,

$$36 \,.\, 12,5 + 6 \,.\, 4,25 = Q \,.\, 4;$$

folglich

$$Q = \frac{36 \,.\, 12,5 + 6 \,.\, 4,25}{4} = \frac{450 + 25,5}{4} = \frac{475,5}{4} = 118,9 \text{ Pfd.}$$

Fig. 82.



2te Aufgabe. Vermittelst einer Brechstange ACB Fig. 82, die in C gestützt ist, soll eine Last $Q = 850$ Pfd. gehoben werden; wie groß muß die in A wirksame Kraft P sein, wenn $AC = 6'$ und $BC = 9''$ ist, die Stange ein Gewicht von 60 Pfd. hat und die Entfernung des Schwerpunktes S vom Stützpunkte C, also $CS = 1,8'$ beträgt?

Auflösung. Nach Obigem muß

$$P \,.\, 6 + 60 \,.\, 1,8 = 850 \,.\, 0,9,$$

folglich

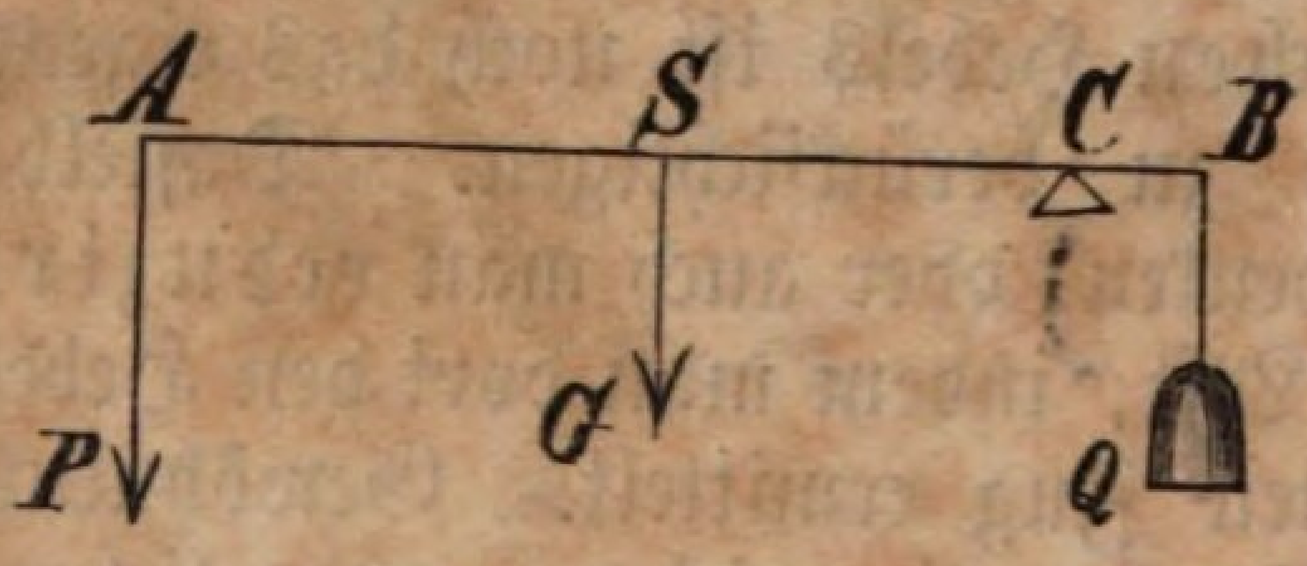
$$6\,P = 850 \,.\, 0,9 - 60 \,.\, 1,8 = 657$$

und daher

$$P = \frac{657}{6} = 109,5 \text{ Pfd. sein.}$$

3te Aufgabe. Vermittelst einer 10 Fuß langen, gleichdicken Hebelstange, die ein Gewicht von 56 Pfd. hat, soll durch eine am Ende A, Fig. 83, wirksame Kraft $P = 50$ Pfd. eine am anderen Ende B angehängte Last $Q = 800$ Pfd. im Gleichgewicht erhalten werden; wo muß der Stützpunkt C angebracht werden, und wie groß ist der daselbst stattfindende Druck.

Fig. 83.



Auflösung. Da die Stange überall gleichdick ist, so ist also deren Schwerpunkt S in der Mitte. Nennt man nun die Entfernung $BC = x$, so ist

$$AC = 10 - x \text{ und } SC = 5 - x;$$

daher, weil

$$P \,.\, AC + G \,.\, SC = Q \,.\, BC,$$

$$50\,(10 - x) + 56\,(5 - x) = 800 \,.\, x;$$

folglich

$$500 - 50\,x + 280 - 56\,x = 800\,x;$$

daher

$$780 = 906\,x;$$

somit

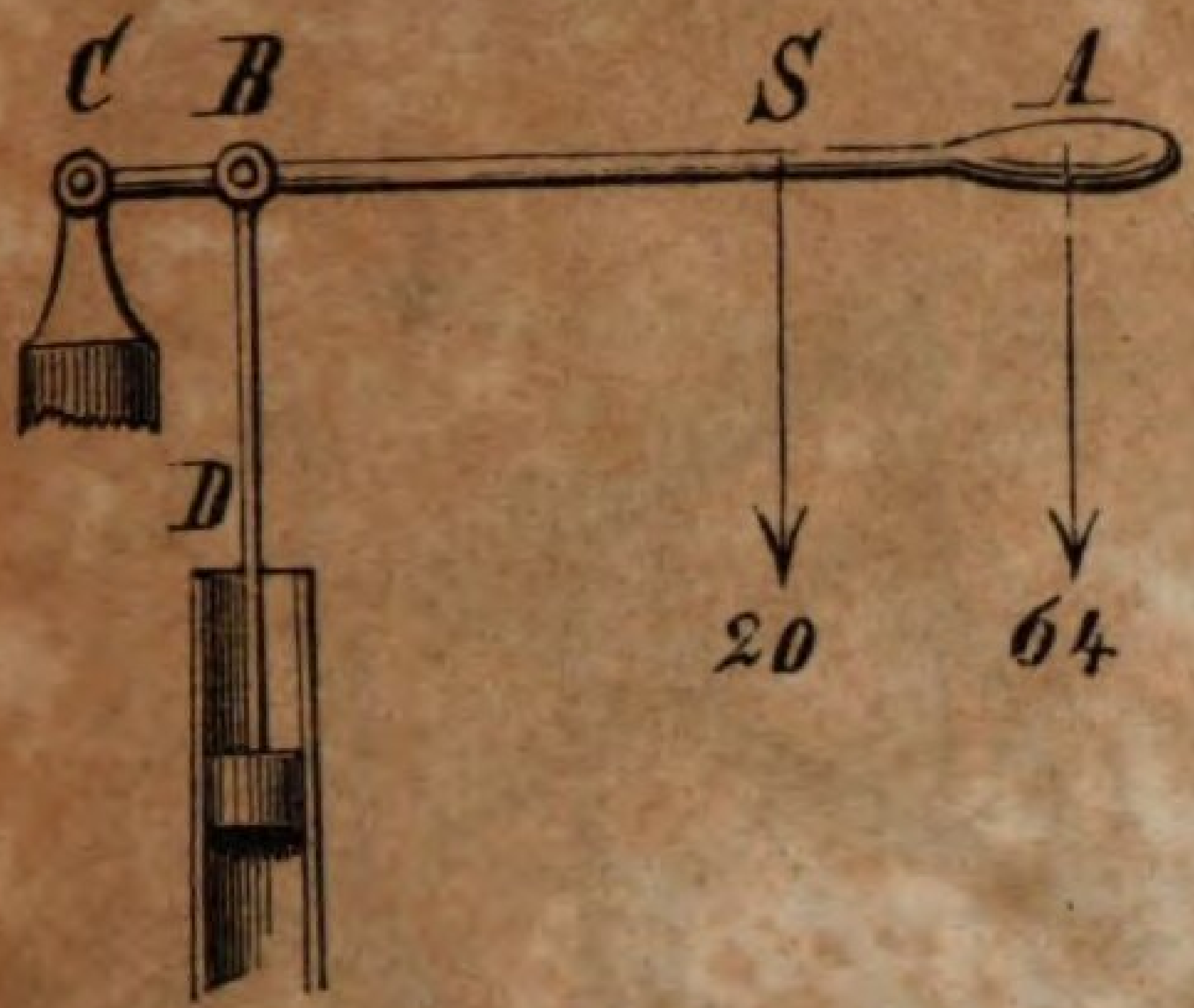
$$x = \frac{780}{906} = 0,86 \text{ Fuß.}$$

Es muß somit der Stützpunkt C vom Endpunkte B eine Entfernung von 0,86 Fuß haben.

Der Druck im Stützpunkt ist

$$R = P + G + Q = 50 + 56 + 800 = 906 \text{ Pfd.}$$

Fig. 84.



4te Aufgabe. An einem einarmigen Hebel *ABC* Fig. 84, welcher in *C* gestützt ist, wirke in *A* eine Kraft $P = 64$ Pfd.; wie groß ist der in *B* auf die Kolbenstange *BD* ausgeübte Druck *Q*, wenn $AC = 4'$ und $BC = 6''$, und wenn der Schwerpunkt *S* der 20 Pfd. schweren Hebelstange 2,8′ von *C* entfernt ist?

Auflösung. Nach Früherem ist

$$64 \,.\, 4 + 20 \,.\, 2{,}8 = Q \,.\, 0{,}6;$$

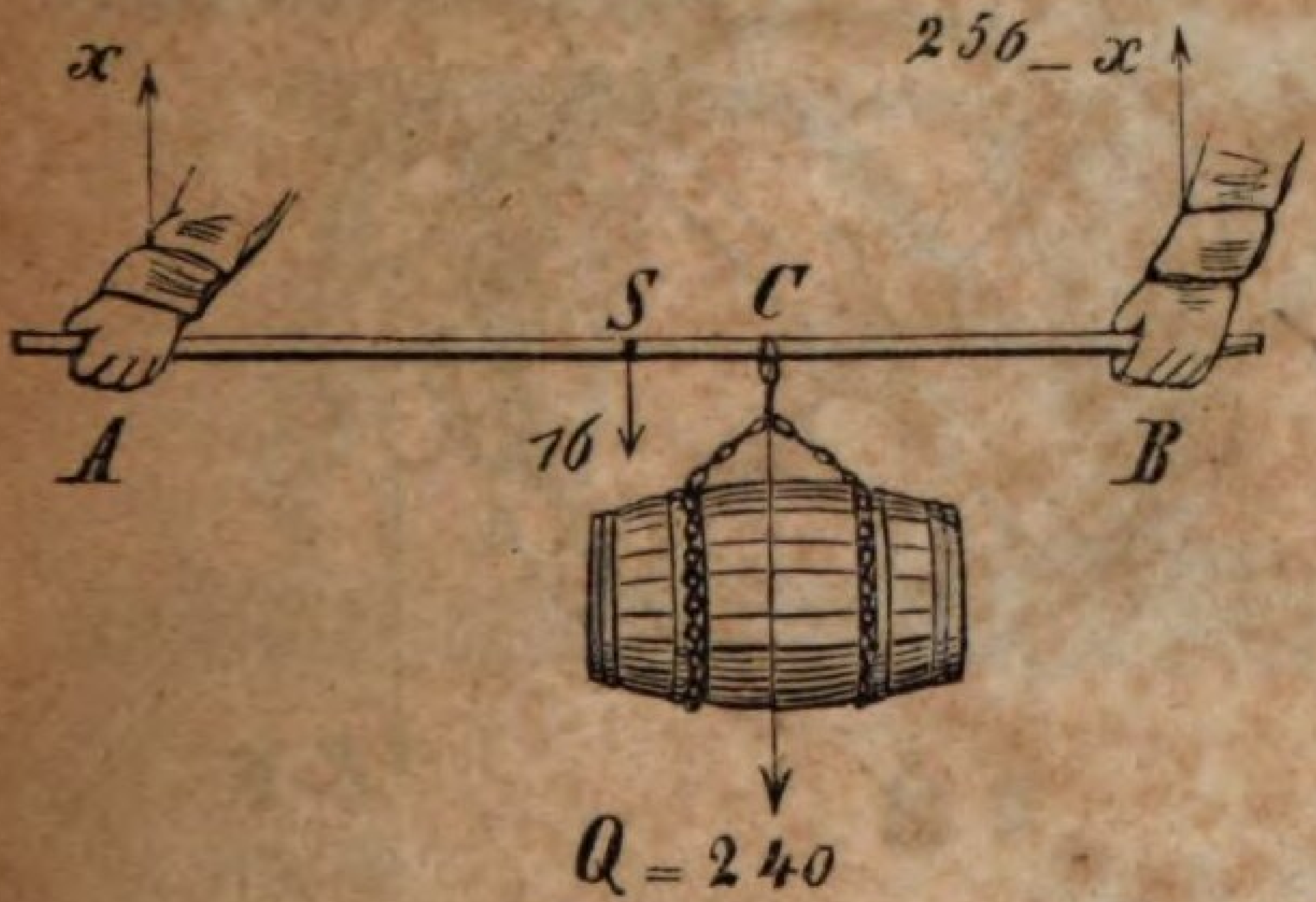
daher

$$Q = \frac{256 + 56}{0{,}6} = 520 \text{ Pfd.}$$

5te Aufgabe. An einer 5′ langen und 16 Pfd. schweren Stange *AB* Fig. 85 wird eine in *C* hängende Last $Q = 240$ Pfd. durch zwei Arbeiter fortgetragen, wovon der eine in *A* und der andere in *B* angreift; welchen Druck hat jeder der Arbeiter auszuhalten, wenn $BC = 2{,}3'$ und die Entfernung des Schwerpunktes *S* von *B*, also $BS = 3{,}1'$ beträgt?

Auflösung. Nach der Lehre von den parallelen Kräften muß der Druck in *A* und *B* zusammen gleich den entgegengesetzt wirkenden Drücken $240 + 16 = 256$ Pfd. sein.

Fig. 85.



Nennt man daher den Druck in $A = x$, so ist der Druck in $B = 256 - x$.

Nun kann man sich denken, *A* oder *B* sei der Stützpunkt des Hebels *AB*. Nimmt man an, *B* sei der Stützpunkt, dann hat man, weil $AB = 5'$ ist, die Gleichung

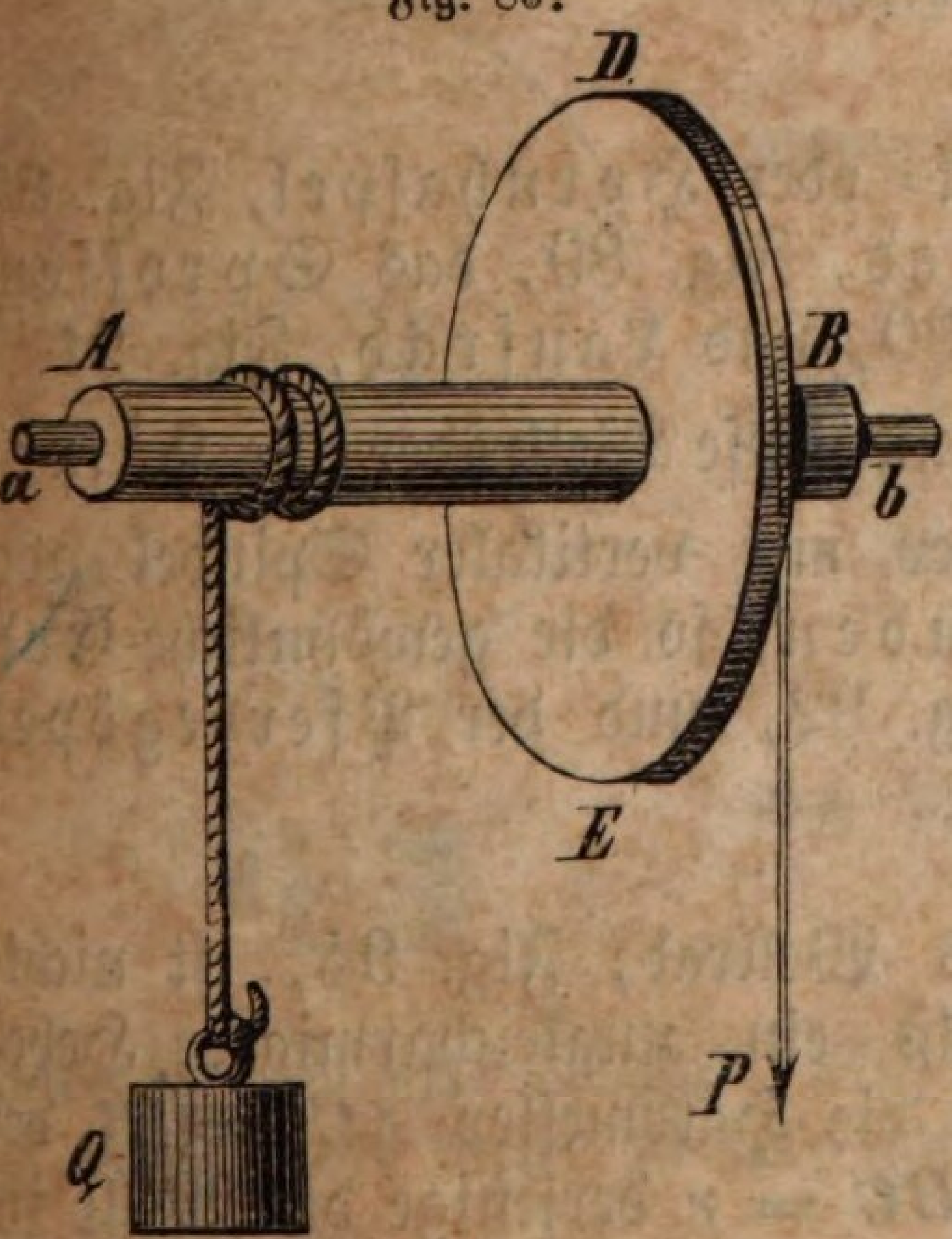
$$x \,.\, AB = 240 \,.\, BC + 16 \,.\, BS;$$

d. i. $x \,.\, 5 = 240 \,.\, 2{,}3 + 16 \cdot 3{,}1$;

daher $x = \dfrac{552 + 49{,}6}{5} = 120{,}32$ Pfd.

Es ist somit der Druck in $A = 120{,}32$ Pfd., und folglich der Druck in $B = 256 - 120{,}32 = 135{,}68$ Pfd.

Fig. 86.



2) Das Wellrad.

1) Am Wellrad oder Rad an der Welle, Fig. 86, wirkt eine Kraft immer am Umfange einer Scheibe *DE*, oder an Hebearmen und setzt die damit verbundene Welle *AB* in Umdrehung. Um die Welle wickelt sich ein Seil, an welchem die Last aufgehängt ist.

Die verschiedenen Formen des Wellrades sind:

Das Seilrad, Fig. 86, sodann der Kreuzhaspel, Fig. 87,

Fig. 87.

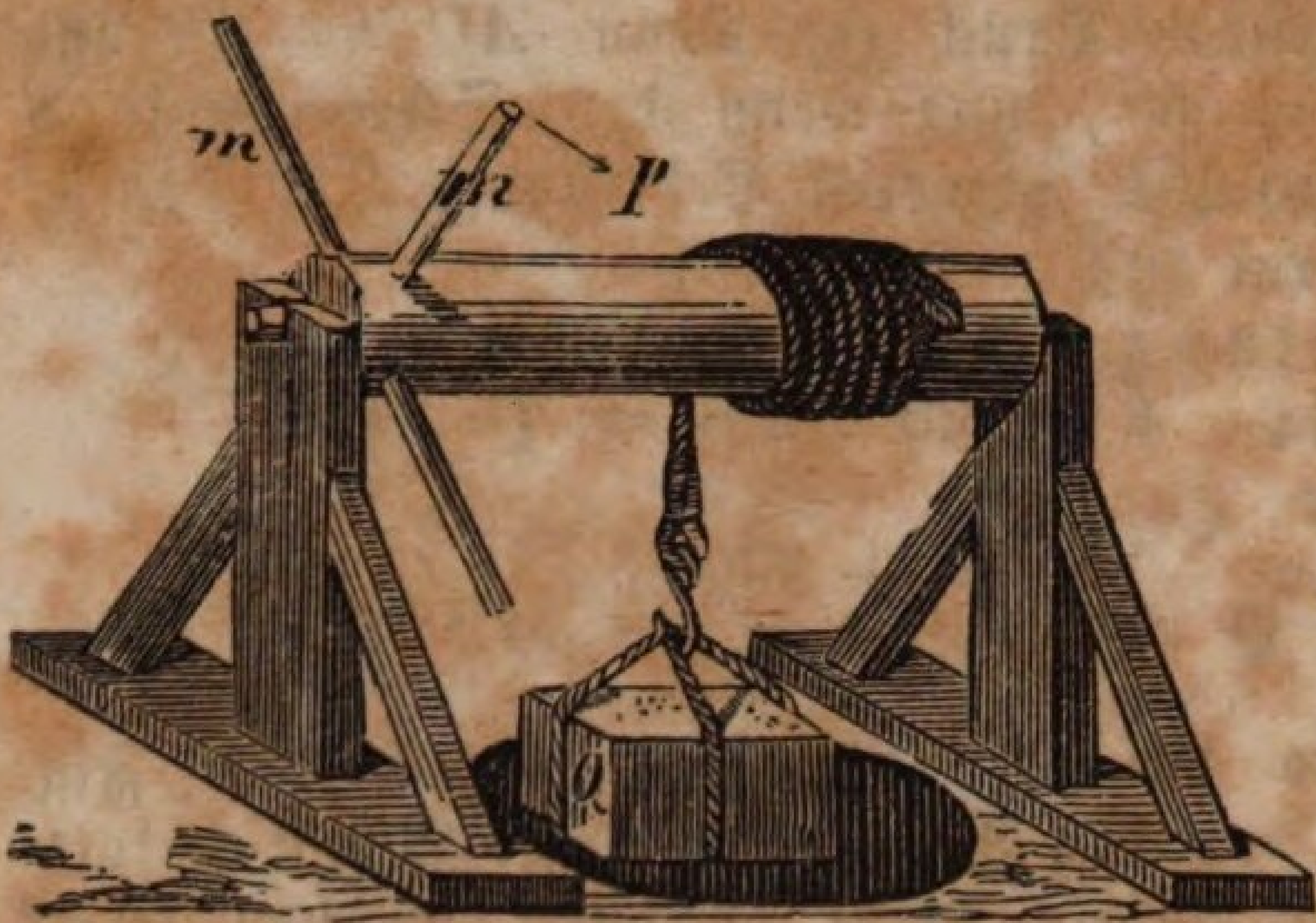


Fig. 88.

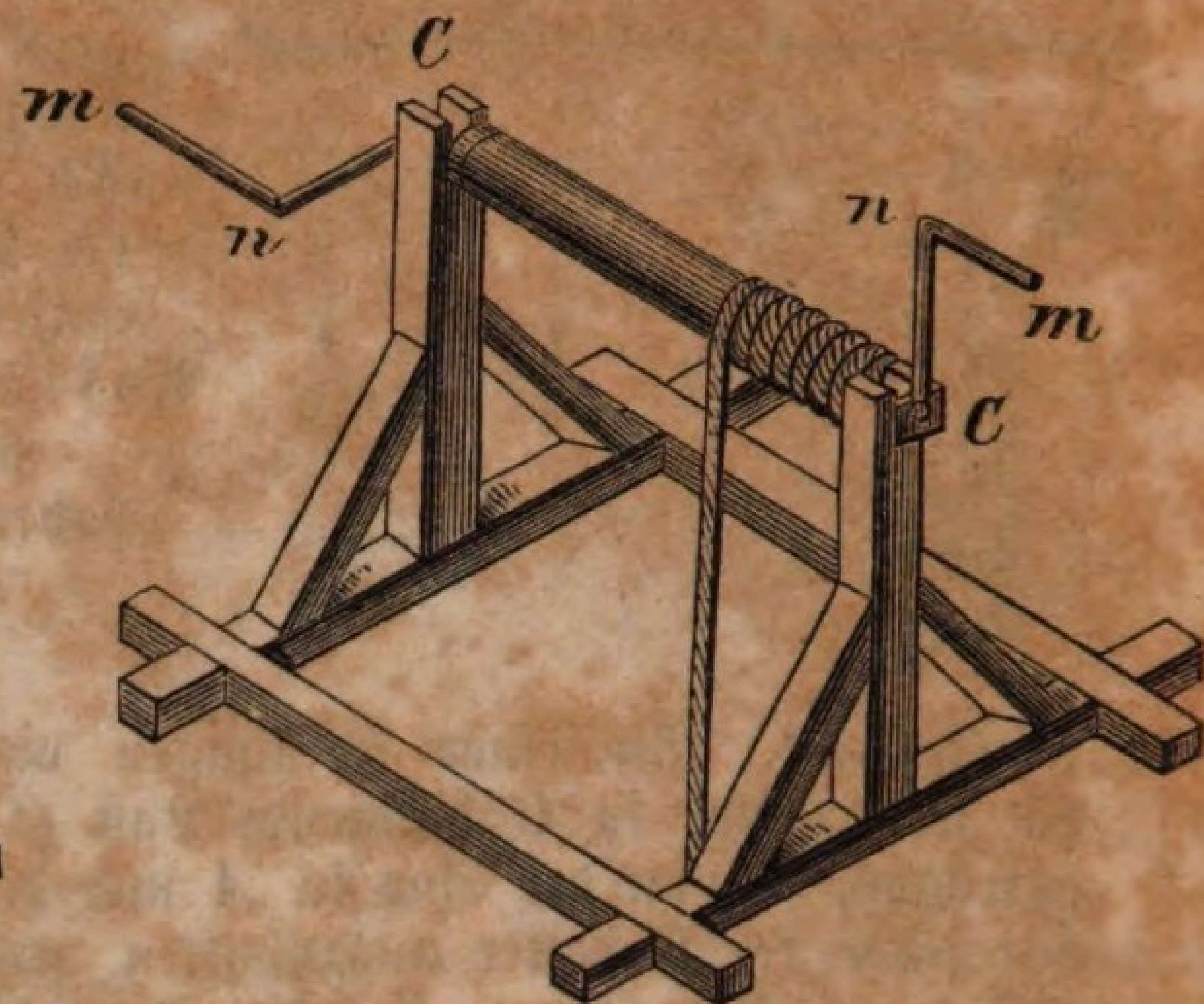


Fig. 89.

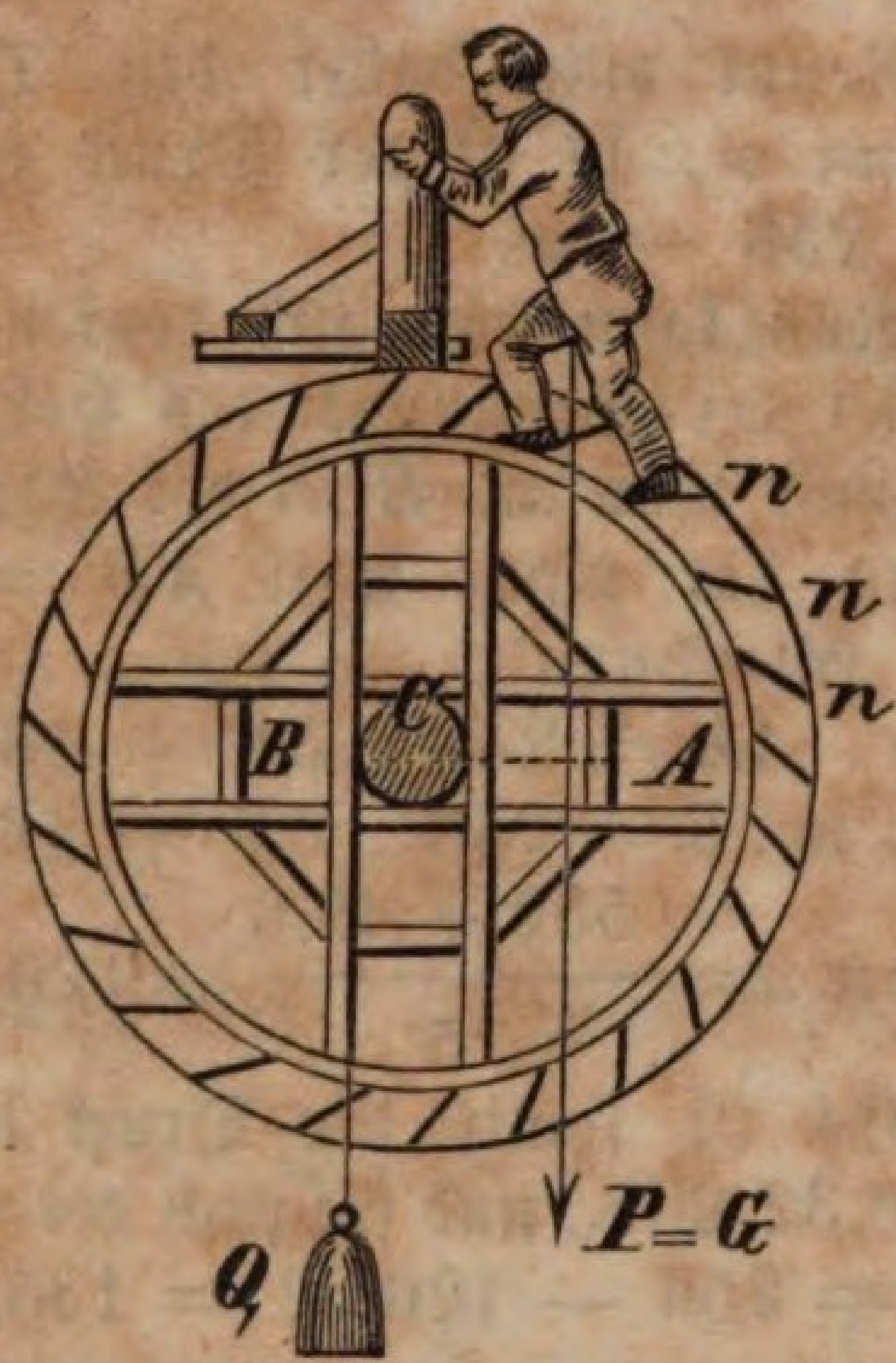


Fig. 90.

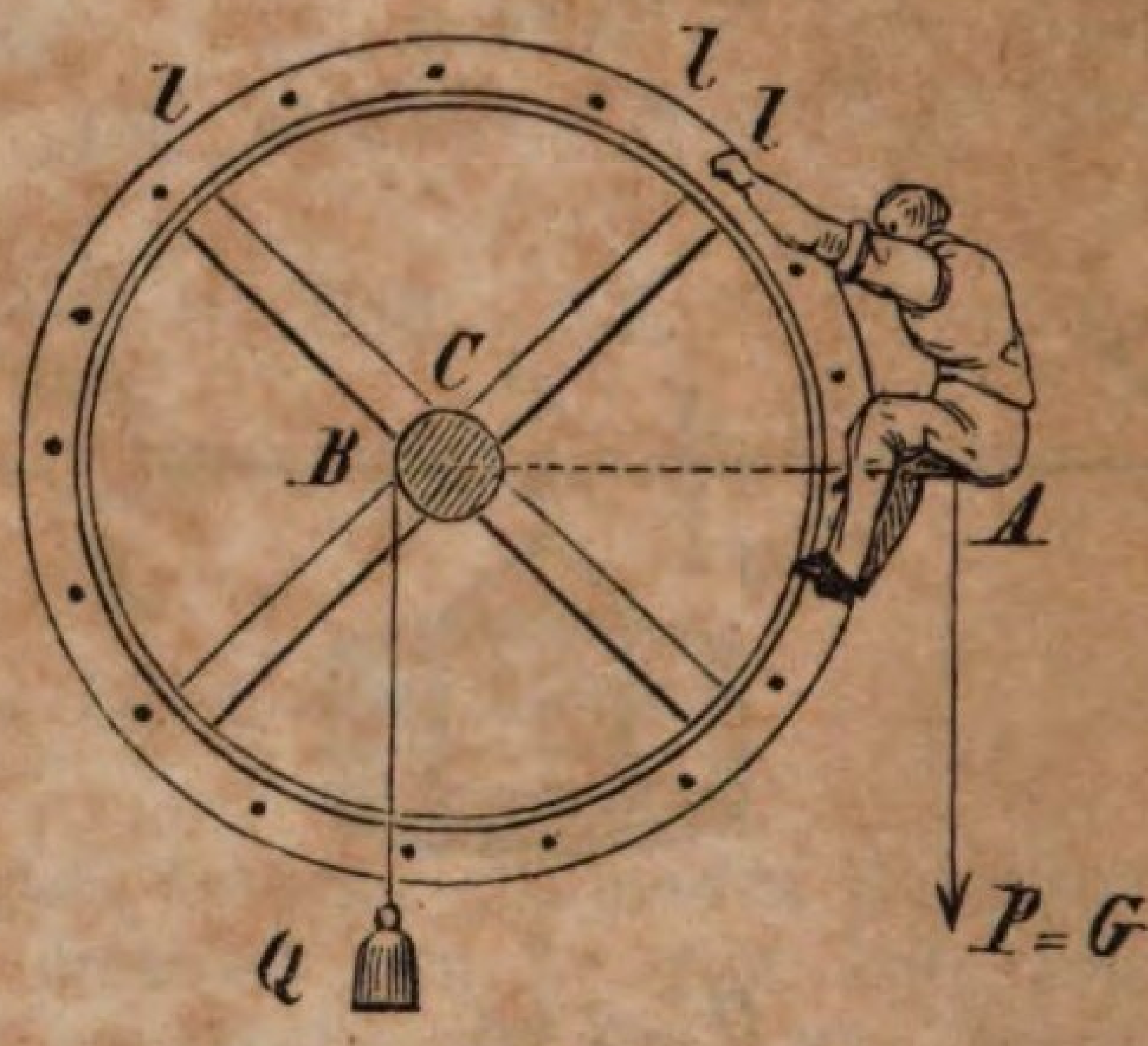


Fig. 91.



der *Kurbel-* oder *Hornhaspel*, Fig. 88, das *Tretrad*, Fig. 89, das *Sprossenrad*, Fig. 90, und *Laufrad*, Fig. 91.

Man nennt diese Wellräder alle *Häspel*.

Wellräder mit vertikaler Spindel aber heißen *Winden*, so die gewöhnliche *Erdwinde*, Fig. 92, und der *Pferdegöpel*, Fig. 93.

2) Das Wellrad, Fig. 94, ist nichts anderes, als ein ungleicharmiger Hebel, dessen Arme die Halbmesser $AC = R$ des Rades und $BC = r$ derjenige der Welle ist.

Fig 92.

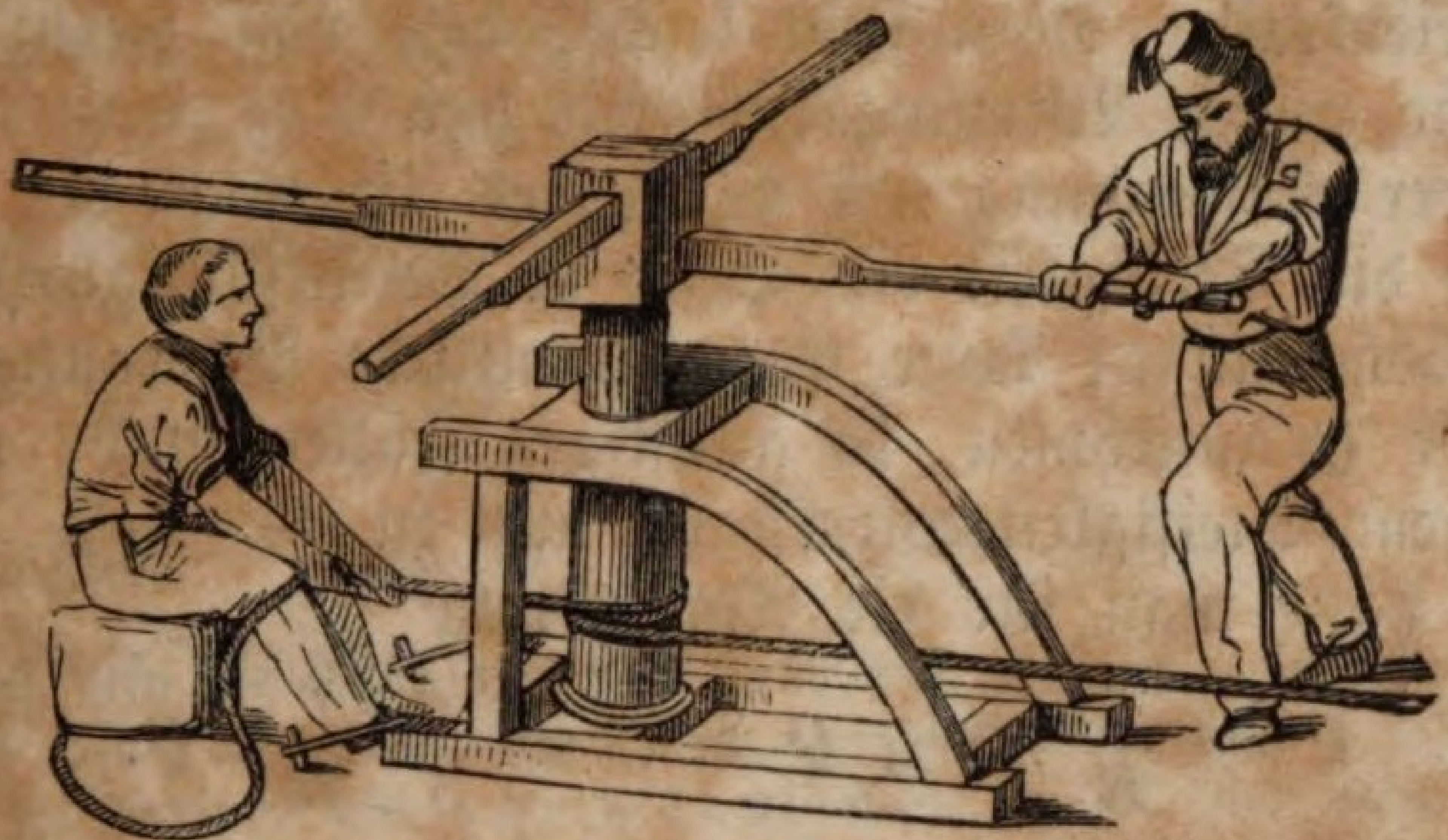


Fig. 93.

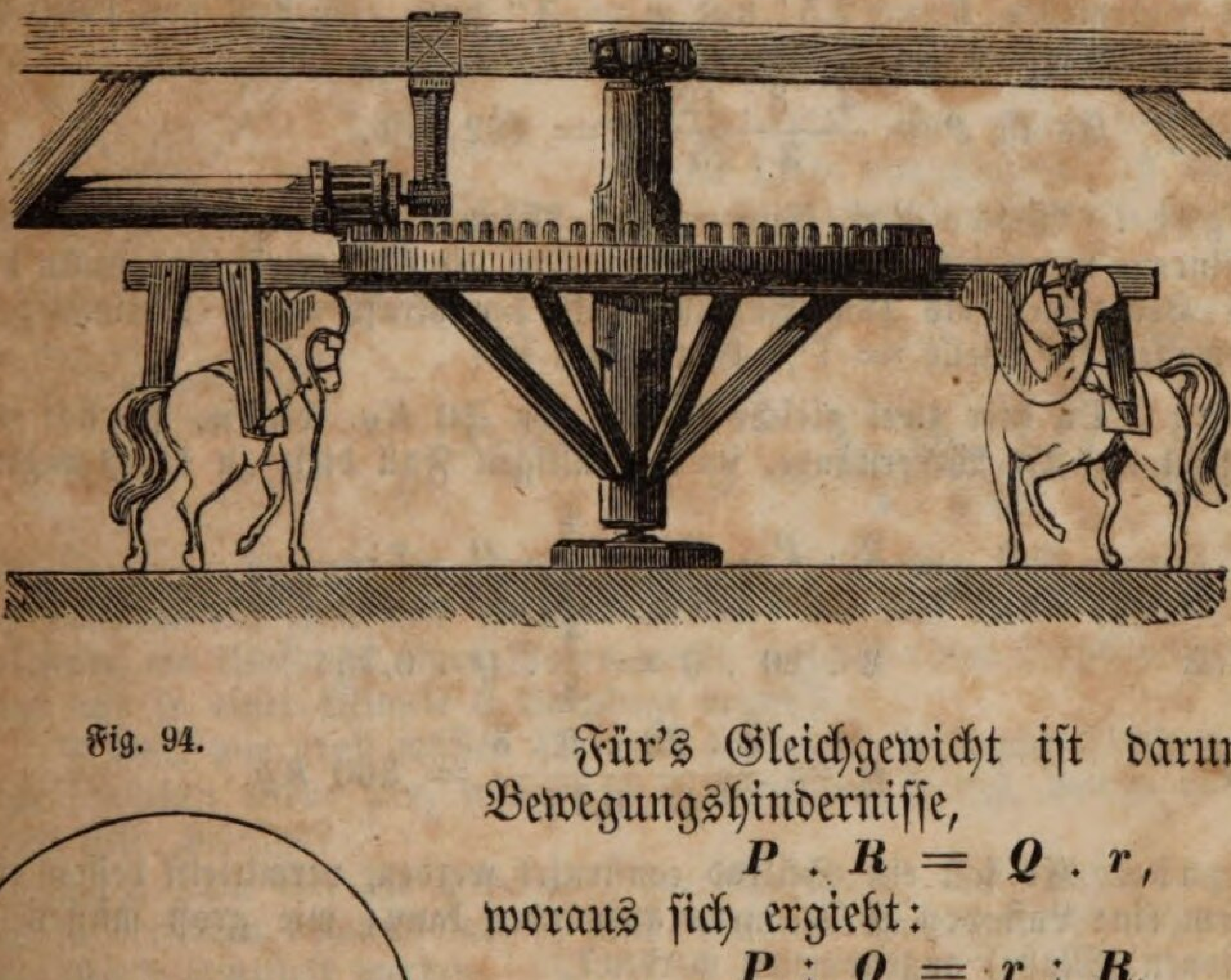


Fig. 94.



Für's Gleichgewicht ist darum, ohne Bewegungshindernisse,

$$P \cdot R = Q \cdot r,$$

woraus sich ergiebt:

$$P : Q = r : R.$$

Es verhält sich also die Kraft zur Last, wie der Halbmesser der Welle zum Halbmesser des Rades.

Für die Kraft erhält man

$$P = \frac{r}{R} \cdot Q,$$

und für die Last erhält man

$$Q = \frac{R}{r} \cdot P.$$

Für die übrigen Formen der Wellräder gelten ganz die gleichen Werthe, man darf unter R nur immer den rechtwinkeligen Abstand

der Kraftrichtung vom Drehpunkt oder vom Mittel der Welle verstehen. Bei den Tret- und Laufrädern ist das Gewicht des Menschen oder des Thiers die Triebkraft. Man sieht leicht, daß von diesen Rädern das Sprossenrad die größte Wirkungsfähigkeit hat.

3) Bei der Anwendung des Wellrades ist noch die Reibung der Zapfen, sowie die Steifigkeit der Seile in Berücksichtigung zu nehmen.

Nach Beobachtungen kann man sämmtliche Bewegungswiderstände zu $\frac{1}{3}$ der Last Q annehmen, in günstigen Fällen auch, und namentlich bei geringem Steifigkeitswiderstand nur zu $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$.

Alsdann hätte man für die Anwendung

$$P = \frac{r}{R} \cdot 1\frac{1}{3}\, Q \text{ d. i. } = \frac{4 \cdot r}{3 \cdot R} \cdot Q.$$

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Kraft ist erforderlich, um vermittelst eines Wellrades, dessen Halbmesser $R = 2{,}5'$ und $r = 3''$ sind, eine Last von 1200 Pfd. mit Einrechnung des Seilgewichtes zu heben?

Auflösung. Es ist $P = \frac{4 \cdot 3 \cdot 1200}{3 \cdot 25} = 192$ Pfd.

2te Aufgabe. Welche Last können zwei Männer vermittelst eines Kreuzhaspels aufwinden, wenn jeder mit einer Kraft von 20 *Kg*. wirkt, und wenn die Länge eines Hebearmes bis zum Angriffspunkt der Kraft = 9 Decimeter und der Halbmesser der Welle = $7\frac{1}{2}$ Centimeter ist?

Auflösung. Da hier zwei gleiche Kräfte von 20 *Kg*. wirken, so hat man mit Rücksicht auf die Widerstände, im ungünstigen Fall diese zu $\frac{1}{3}\,Q$ angenommen,

$$2 \cdot P \cdot R = \frac{4}{3} \cdot Q \cdot r;$$

folglich
$$2 \cdot 20 \cdot 9 = \frac{4}{3} \cdot Q \cdot 0{,}75;$$

daher
$$Q = \frac{2 \cdot 20 \cdot 9 \cdot 3}{4 \cdot 0{,}75} = 360\ Kg.$$

3te Aufgabe. Es soll ein Seilrad construirt werden, vermittelst dessen ein Mann bequem eine Last von 6 Centnern aufwinden kann; wie groß müssen die Dimensionen (Maße) angenommen werden?

Auflösung. Für ein gewöhnliches Seilrad, an welchem der Arbeiter eine Last aufwärts zieht, kann — da das Seil wieder leer abwärts geht — die Kraft des Mannes bei andauernder Arbeit zu 36—40 Pfd. angenommen werden. Gibt man der Welle, wenn sie von Eisen ist, einen Durchmesser = 3 Zoll, so hat man, wenn R den Halbmesser des Rades bezeichnet,

$$P \cdot R = \frac{4}{3} \cdot 600 \cdot \frac{3}{2};$$

folglich wenn $P = 40$ Pfd. angenommen wird,

$$R = \frac{4 \cdot 600}{2 \cdot 40} = 30 \text{ Zoll} = 3 \text{ Fuß}.$$

4te Aufgabe. Man soll einen Kurbel- oder Hornhaspel construiren, und berechnen, welche Last ein Mann für die Dauer damit zu heben im Stande ist, wenn die Wellendicke zu 4″ bad. angenommen wird?

Auflösung. Die Kurbellänge darf, der Länge des menschlichen Armes entsprechend, nicht wohl größer als zu $1^1/_2$ Fuß angenommen werden. Die Kraft, mit der ein Mann eine Kurbel treibt, ist bei einer mittleren Geschwindigkeit von 0,75 Meter = $2^1/_2$ Fuß bad., d. i. bei 20—25 Umdrehungen per Minute und täglich 8 stündiger Arbeitszeit zu 8 *Kg.* = 16 Pfd. anzunehmen.

Somit hat man statt $P \,.\, R = \frac{4}{3} Q \,.\, r$,

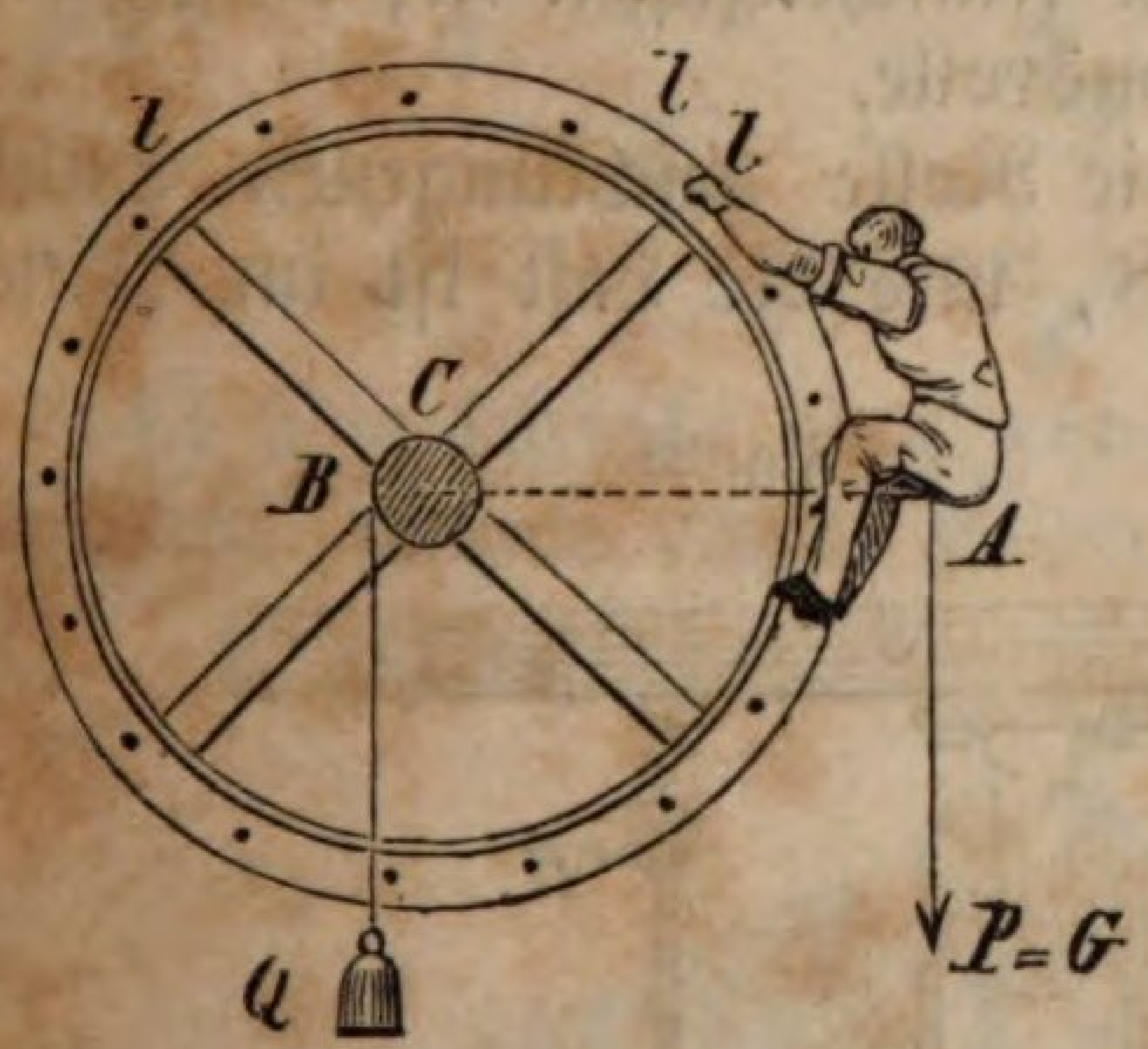
$$16 \,.\, 15 = \frac{4}{3} Q \,.\, 2;$$

folglich $Q = \frac{3 \,.\, 16 \,.\, 15}{4 \,.\, 2} = 90$ Pfd.

Es ist also die Last (mit Einschluß des Seiles), welche ein Mann heben kann, 90 Pfd., bei geringern Bewegungshindernissen noch größer.

Ist der Haspel ein zweimännischer, d. h. sind zwei Kurbeln für zwei Arbeiter angebracht, so kann natürlich auch die doppelte Last gehoben werden.

Fig. 95.



5te Aufgabe. Welche Last kann ein Mann vermittelst eines Sprossenrades Fig. 95 aufwinden, wenn der Hebelarm *AC* der Kraft = 1,5 Meter und der Wellenhalbmesser *BC* = 0,12 Meter ist?

Auflösung. Bei einem solchen Rade, wie beim Tret- und Laufrad, ist das Gewicht *G* des Arbeiters die treibende Kraft. Dies zu 60 *Kg.* angenommen, gibt

$$60 \,.\, 1{,}5 = \frac{4}{3} \,.\, 0{,}12\, Q;$$

folglich

$$Q = \frac{3 \,.\, 60 \,.\, 1{,}5}{4 \,.\, 0{,}12} = 562{,}5 \textit{ Kg.}$$

6te Aufgabe. Vermittelst eines Seilrades soll eine Last von 1500 Pfd. in 5 Minuten 60 Fuß hoch gehoben werden; wie viel Kraft braucht man, wenn dieselbe am Umfange eines Rades wirkt, welches einen Durchmesser von 10 Fuß hat und in einer Minute 8 Umgänge macht?

Ferner, wie groß müssen für eine sich gleich bleibende Kraft die Halbmesser der konischen Welle sein, wenn das Gewicht des Seiles, woran die Last hängt, 180 Pfd. beträgt?

Auflösung. Da hier die Hebelarme der Kraft und Last nicht, wohl aber die Wege derselben bekannt sind, so muß aus dem Verhältniß der letztern die Größe der Kraft ermittelt werden.

Die Last soll in 5 Minuten einen Weg von 60 Fuß zurücklegen.

Die Kraft macht in dieser Zeit einen Weg, welcher 5 . 8 oder 40 mal so groß ist, als der Umfang des Rades, da dieses in einer Minute 8 Umgänge macht.

Es ist aber der Umfang des Rades = $d \,.\, \pi = 10 \,.\, 3{,}14 = 31{,}4'$;
folglich Weg der Kraft in 1 Minute = 8 . 31,4;
daher „ „ „ „ 5 Minuten = 5 . 8 . 31,4 = 1256'.

Wenn nun die Bewegungshindernisse zu $^1/_3$ der Last, also zu $\frac{1500}{3} = 500$ Pfd. angenommen werden, so ist die Gesammtlast = 1500 + 500 = 2000 Pfd.

Weil nun die Kräfte (Kraft und Last) sich umgekehrt verhalten, wie ihre Wege, so verhält sich

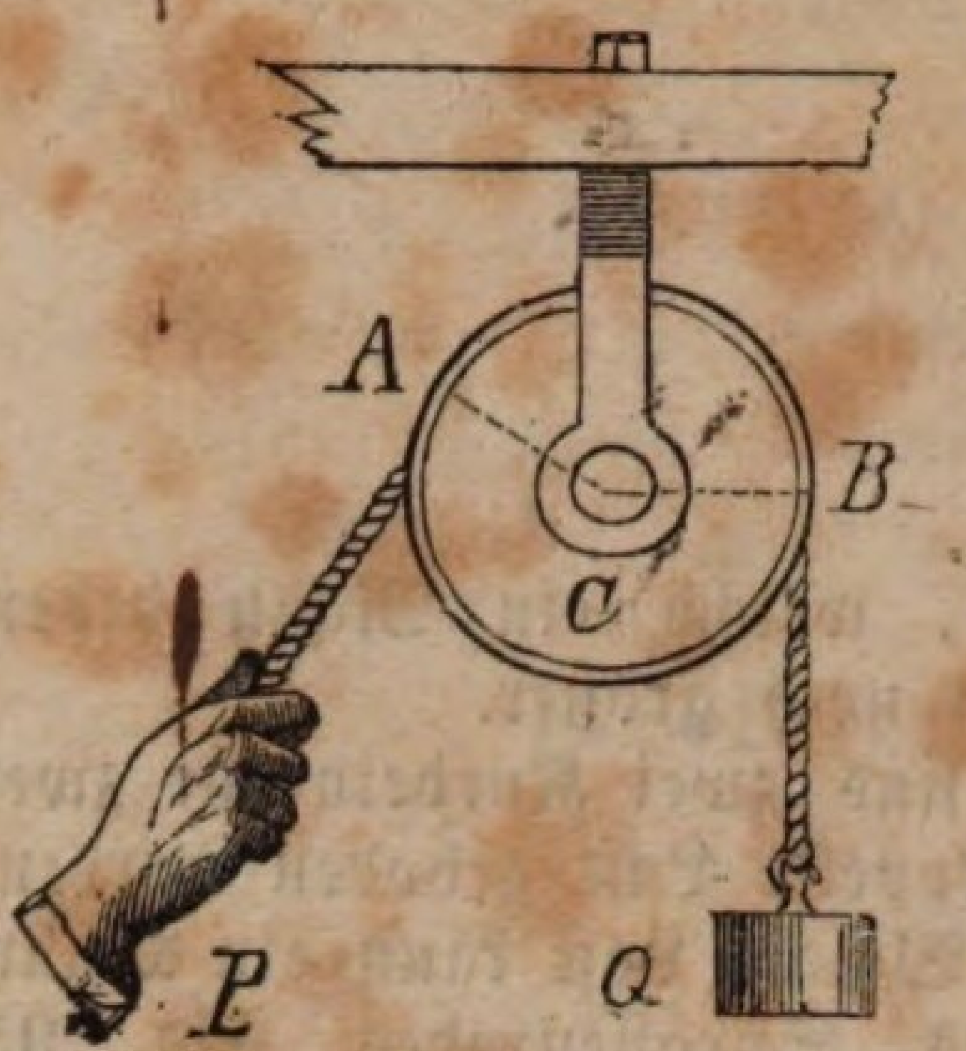
$P : 2000 = 60 : 1256$; oder es ist $P \,.\, 1256 = 2000 \,.\, 60$,

folglich die Kraft $P = \frac{2000 \,.\, 60}{1256} = 95{,}5$ Pfd.

3) Von der Rolle.

1) Die Rolle ist eine um ihre, durch den Mittelpunkt gehende Axe, sich drehende Kreisscheibe, über deren Umfang Seile oder Riemen gehen, an welchen die Kräfte, oder auch Kraft und Last thätig sind.

Fig. 96.



2) Die Rolle, Fig. 96, bei welcher an einem Seilende die Kraft, und am andern die Last wirkt, heißt eine feste, da sie ihren Ort nicht ändert.

Die feste Rolle ist keine eigentliche mechanische Potenz, da vermittelst derselben ein Kraftgewinn nicht erreicht werden kann. — Sie dient aber doch häufig als sogen. Leit- oder Richtungsrolle, z. B. bei Flaschenzügen 2c.; desgleichen auch als Frictionsrolle.

3) Ist das eine Ende des um die Rolle geschlungenen Seiles festgemacht, wie in *H*, Fig. 97 und 98, und die Last ist im Mittel

Fig. 97.

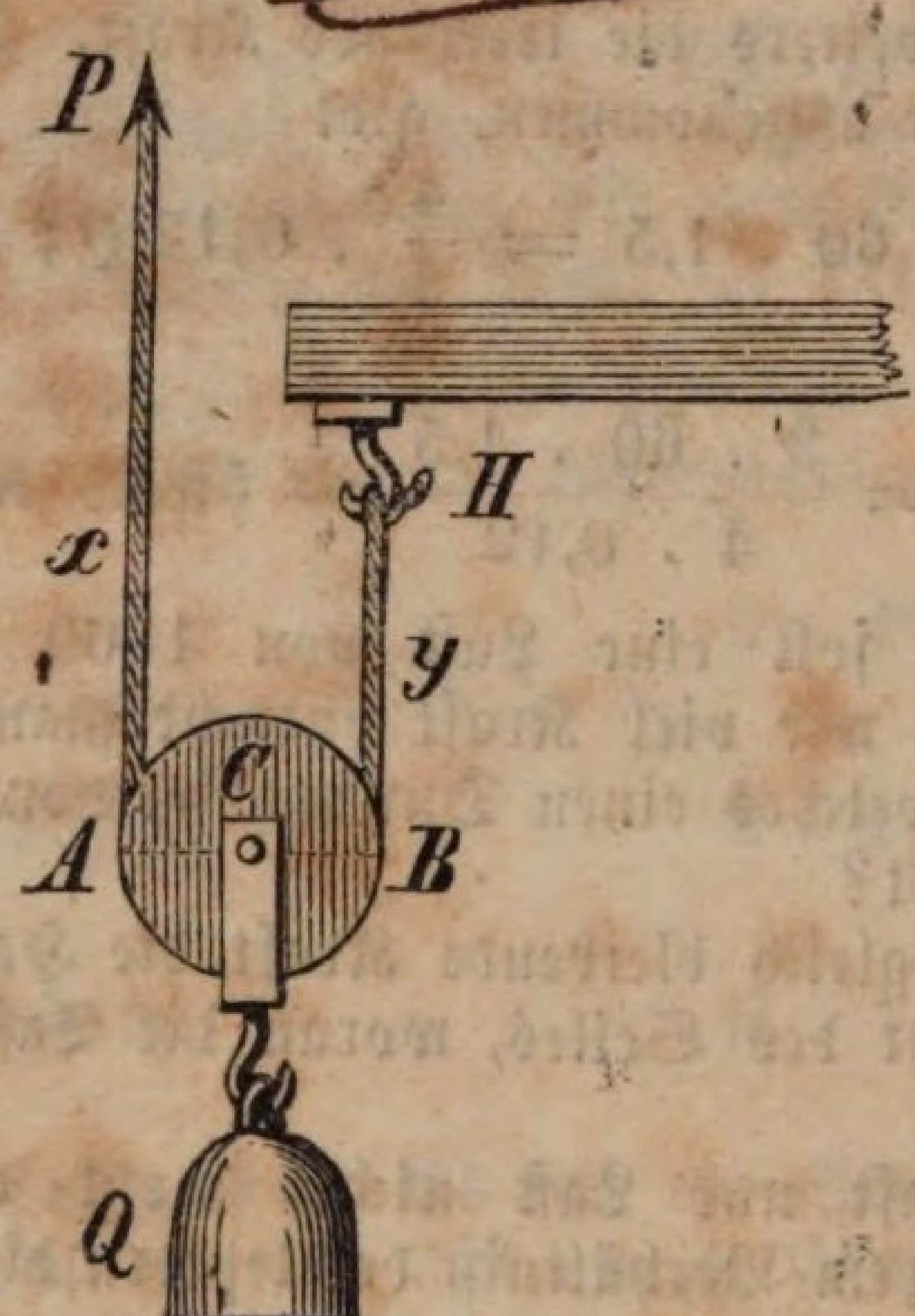
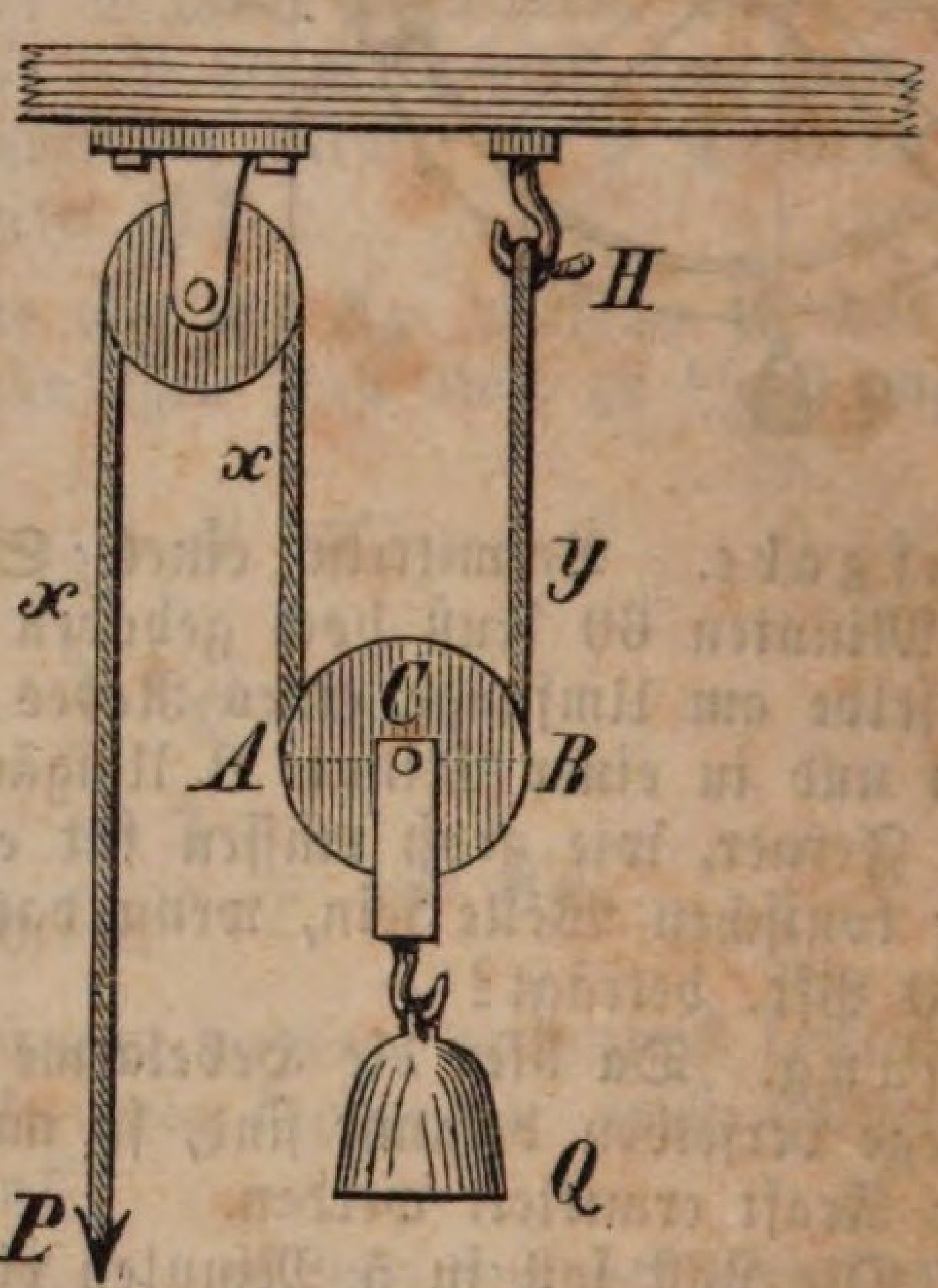


Fig. 98.



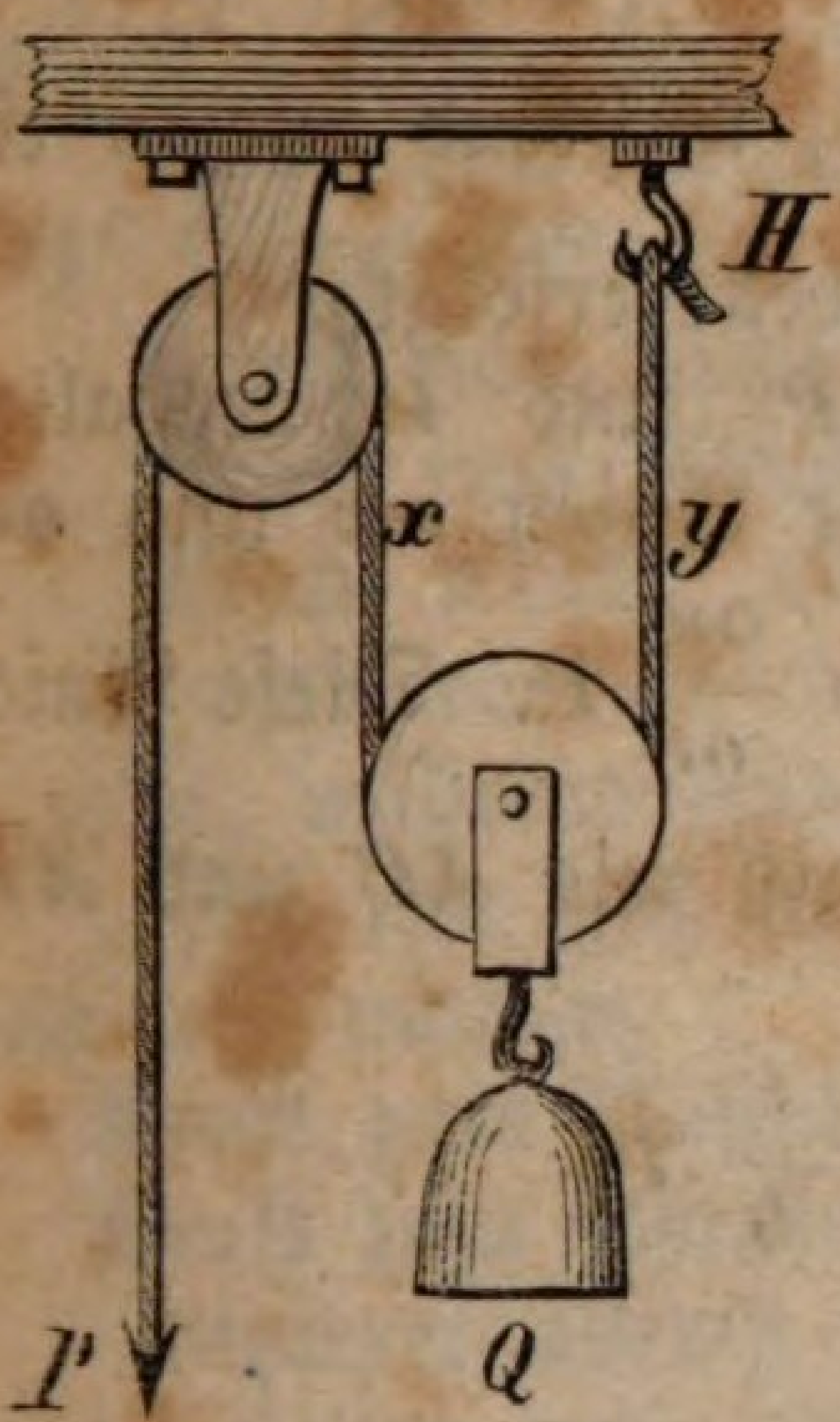
der Rolle aufgehängt, so heißt die Maschine eine lose Rolle. Diese verändert ihren Ort.

Mit der losen Rolle kann man, wenn die Seilstücke *x* und *y* parallel sind, mit irgend einer Kraft *P* immer die doppelte Last *Q* heben, denn die aufgehängte Last *Q* wird von den zwei Seilstücken *x* und *y* getragen, also hat *P* nur einem Zug $= \frac{1}{2} Q$ zu widerstehen.

Somit ist $P = \frac{1}{2} Q$, oder $Q = 2P$.

4) Wie beim Wellrad, so sind auch bei den Rollen und Rollenverbindungen die Reibungs- und Steifigkeitswiderstände zu berücksichtigen.

Fig. 99.



Diese können bei einfachen Rollen zu $\frac{1}{5} - \frac{1}{10}$ der Last angenommen werden. Bei Rollenverbindungen sind solche größer. — Bei der losen Rolle ist das eigene Gewicht ein Theil der Last.

Aufgabe.

Vermittelst einer Rollenvorrichtung, wie die nebenstehende Fig. 99, soll eine Last von 250 Pfd. gehoben werden; welche Kraft ist hiezu erforderlich?

Auflösung. Nach Satz 3 hat man $P = \frac{1}{2} Q$; oder wenn auf die Bewegungswiderstände Rücksicht und diese zu $\frac{1}{10}$ der Last angenommen werden:

$$P = \frac{11}{10} \cdot \frac{1}{2} Q = \frac{11 \cdot 250}{10 \cdot 2} = 137{,}5 \text{ Pfd.}$$

4) Von der schiefen Ebene.

1) Die schiefe oder geneigte Ebene, Fig. 100, bildet mit dem Horizonte immer einen spitzigen Winkel. Man nennt $AC = l$ die Länge, $BC = h$ die Höhe und $AB = b$ die Basis oder Grundlinie der schiefen Ebene. Befindet sich auf der Ebene eine Last, so ist nun die Frage, wie groß eine Kraft sein müßte, um dieselbe im Gleichgewicht zu erhalten, wenn die Kraftrichtung entweder parallel zur Länge der schiefen Ebene, oder parallel zur Grundlinie ist.

Fig. 100.

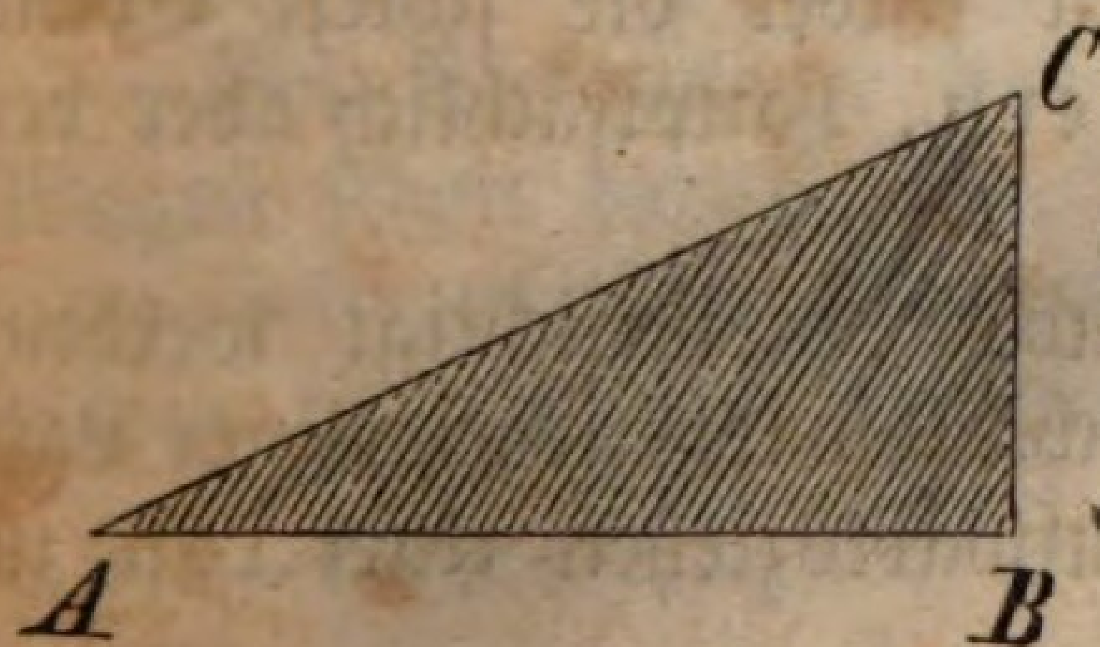
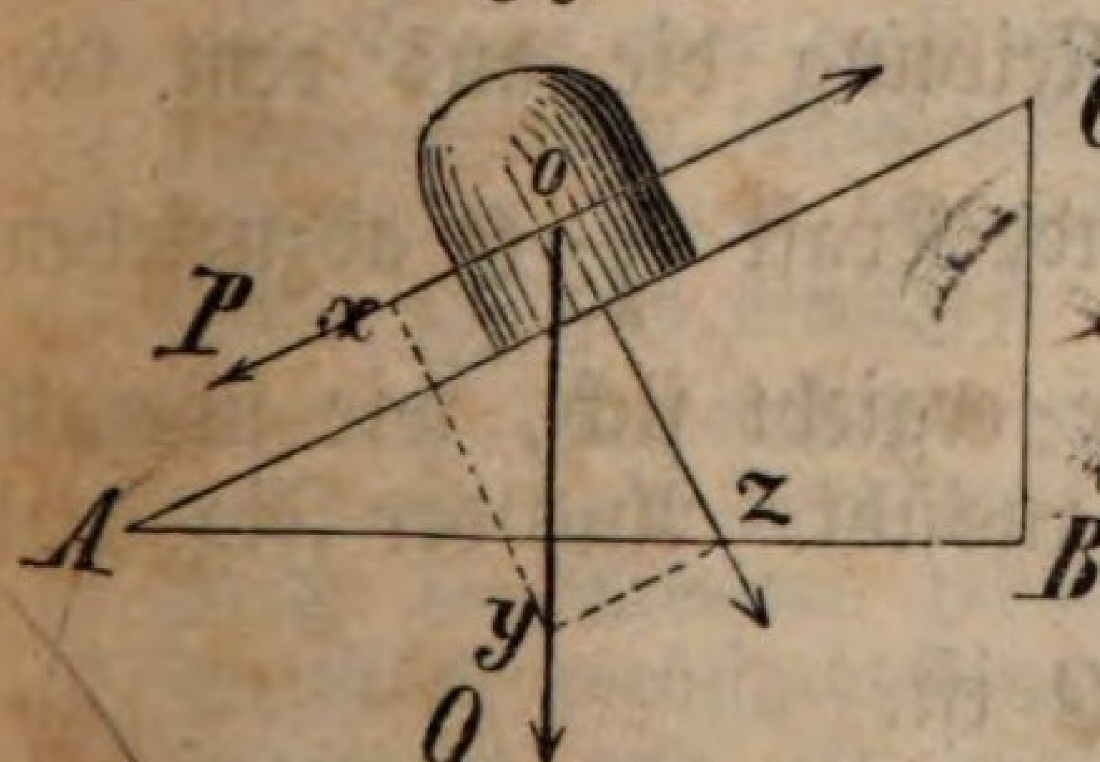


Fig. 101.



2) Ist Q, Fig. 101, die auf der schiefen Ebene befindliche Last, so ist nach Abschn. V. b. Satz 4, die durch Zerlegung gefundene Seitenkraft, welche die Last in der Richtung der Ebene abwärts zieht, $= \frac{h}{l} Q$.

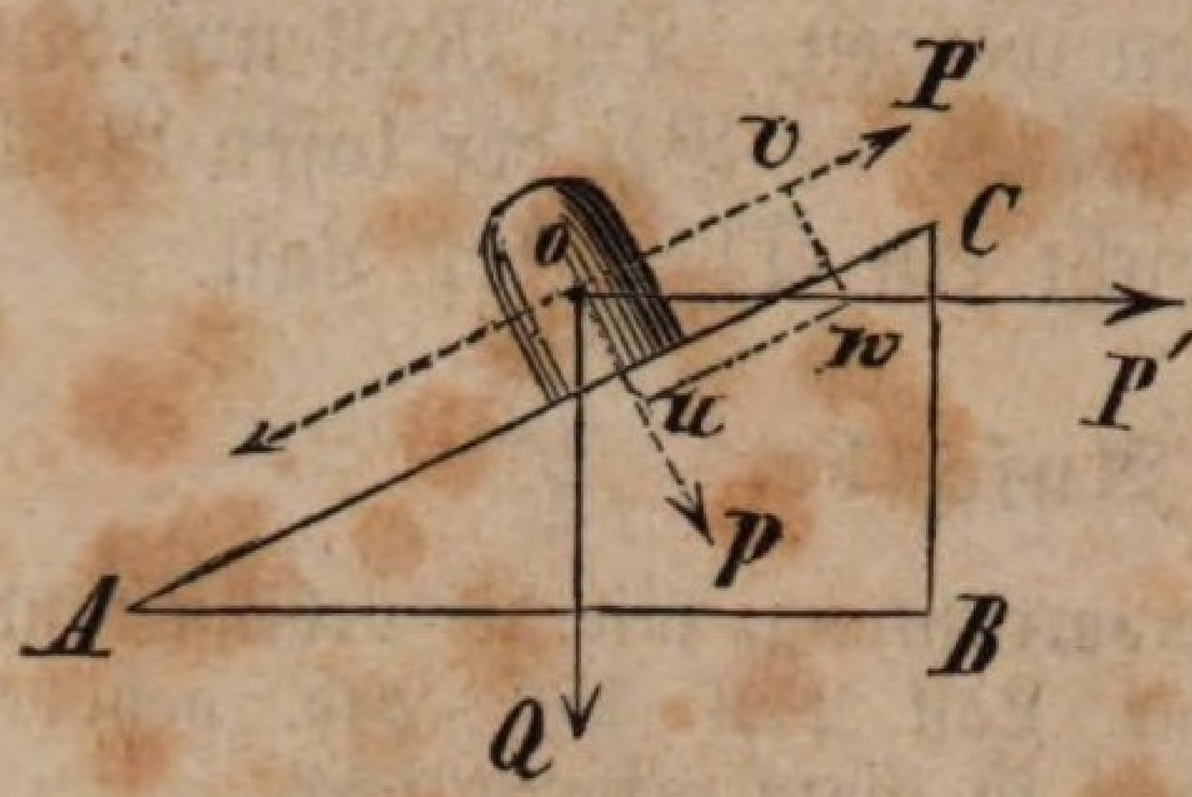
Es muß also eine parallel zur schiefen Ebene wirkende Kraft P, welche die Last Q im Gleichgewicht halten soll,

$$P = \frac{h}{l} Q \text{ sein;}$$

d. h. die Kraft verhält sich zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge.

3) Wenn aber eine Kraft P', Fig. 102, parallel zur Grundlinie wirkt und die Last Q ebenfalls im Gleichgewicht halten soll, so muß solche größer, als obige Kraft P sein. Denn zerlegt man P' in die rechtwin-

Fig. 102.



keligen Seitenkräfte P und p, so muß $P = \frac{h}{l} Q$ sein, während aus p ein Druck auf die Ebene erfolgt.

Die Kräfte P' und P verhalten sich aber, wie die Linien ow und ov; es ist also $P' = \frac{ow}{ov} P$. Diese Linien stehen unter sich aber immer im gleichen Verhältniß wie AC und AB, d. i. wie l zu b.

Man kann also auch setzen $P' = \frac{l}{b} P$.

Und da $P = \frac{h}{l} Q$, so erhält man

$$P' = \frac{l}{b} \cdot \frac{h}{l} Q \text{ d. i. } P' = \frac{h}{b} Q.$$

Wenn also auf einer schiefen Ebene die Kraft parallel zur Grundlinie wirkt, so verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Grundlinie.

4) Nach den beiden angeführten Fällen findet die schiefe Ebene Anwendung bei Rampen, Treppen, Leitern, hauptsächlich aber bei Straßen und Eisenbahnen.

Hier muß aber die Reibung insbesondere berücksichtigt werden, und da diese sowohl beim Aufwärts- als auch Abwärtsziehen einer Last zu überwinden ist, so muß man für das Aufwärtsziehen einer Last zu obigem Werth für die Kraft $= \frac{h}{l} Q$ noch die Reibung addiren. Hingegen für das Abwärtsziehen ist von der Reibung die aus dem Gewichte der Last Q resultirende abwärtstreibende Kraft $\frac{h}{l} Q$ abzuziehen.

5) Die Reibung auf der schiefen Ebene ergiebt sich, wie überall, aus dem Druck, den die Last auf die Ebene ausübt. Aus der Fig. 101 ergiebt sich, daß derselbe $= \frac{oz}{oy} Q = \frac{b}{l} Q$ ist.

Bei Straßen und noch mehr bei Eisenbahnen sind aber b und l in ihrer Größe so wenig von einander verschieden, daß man, ohne einen Fehler zu begehen, Q als den eigentlichen Druck auf die Bahn ansehen kann. Es wäre also, wenn f der Reibungscoefficient ist, die Reibungsgröße $= f \cdot Q$, und demnach

die Kraft zum Aufwärtsziehen $P = f \cdot Q + \frac{h}{l} Q$, und

die Kraft zum Abwärtsziehen $P_1 = f \cdot Q - \frac{h}{l} Q$.

Nach Abschn. **VII** ist bei gewöhnlichen Landstraßen in mittelgutem Zustande $f = \frac{1}{25} - \frac{1}{30}$.

Für eine Straße von 4% Steigung, d. i. eine solche, die auf 100′ Länge sich um 4′ hebt, hätte man dann:

Kraft zum Aufwärtsziehen $= \frac{1}{25}\,Q + \frac{4}{100}\,Q = \frac{2}{25}\,Q$.

Kraft zum Abwärtsziehen $= \frac{1}{25}\,Q - \frac{4}{100}\,Q = 0$.

Man würde also hier bei 4% Steigung zum Aufwärtsziehen schon eine doppelt so starke Zugkraft brauchen, als auf horizontaler Straße, während zum Abwärtsziehen gar keine Kraft erforderlich ist.

Für sehr gut unterhaltene Straßen ist f nur $\frac{1}{50}$, und dann hätte man als nöthige

Kraft zum Aufwärtsziehen $P = \frac{1}{50}\,Q + \frac{1}{25}\,Q = \frac{3}{25}\,Q$;

Kraft zum Abwärtsziehen $P_1 = \frac{1}{50}\,Q - \frac{1}{25}\,Q = -\frac{1}{50}\,Q$.

Letzterer Werth für P_1 will sagen, daß man noch mit $\frac{1}{50}\,Q$ aufwärts ziehen muß, damit ein Wagen nicht durch sein eigenes Gewicht rückwärts läuft.

Man sieht hieraus, daß je besser eine Straße ist, desto größern Einfluß äußern Steigungen auf die Vermehrung der Zugkraft.

Bei Eisenbahnen von ½% Steigung hat man, da dort $f = \frac{1}{200}$ ist,

$$P = \frac{1}{200}\,Q + \frac{1}{200}\,Q = \frac{1}{100}\,Q;$$

$$P_1 = \frac{1}{200}\,Q - \frac{1}{200}\,Q = 0.$$

Bei Steigungen von nur ½% wird also auf Eisenbahnen ein Wagen schon daran sein, von sich selbst rückwärts zu laufen, wenn er nicht gesperrt ist, wogegen zum bergan Fahren doppelt soviel Kraft nöthig ist, als bei horizontaler Bahn*).

Aufgaben.

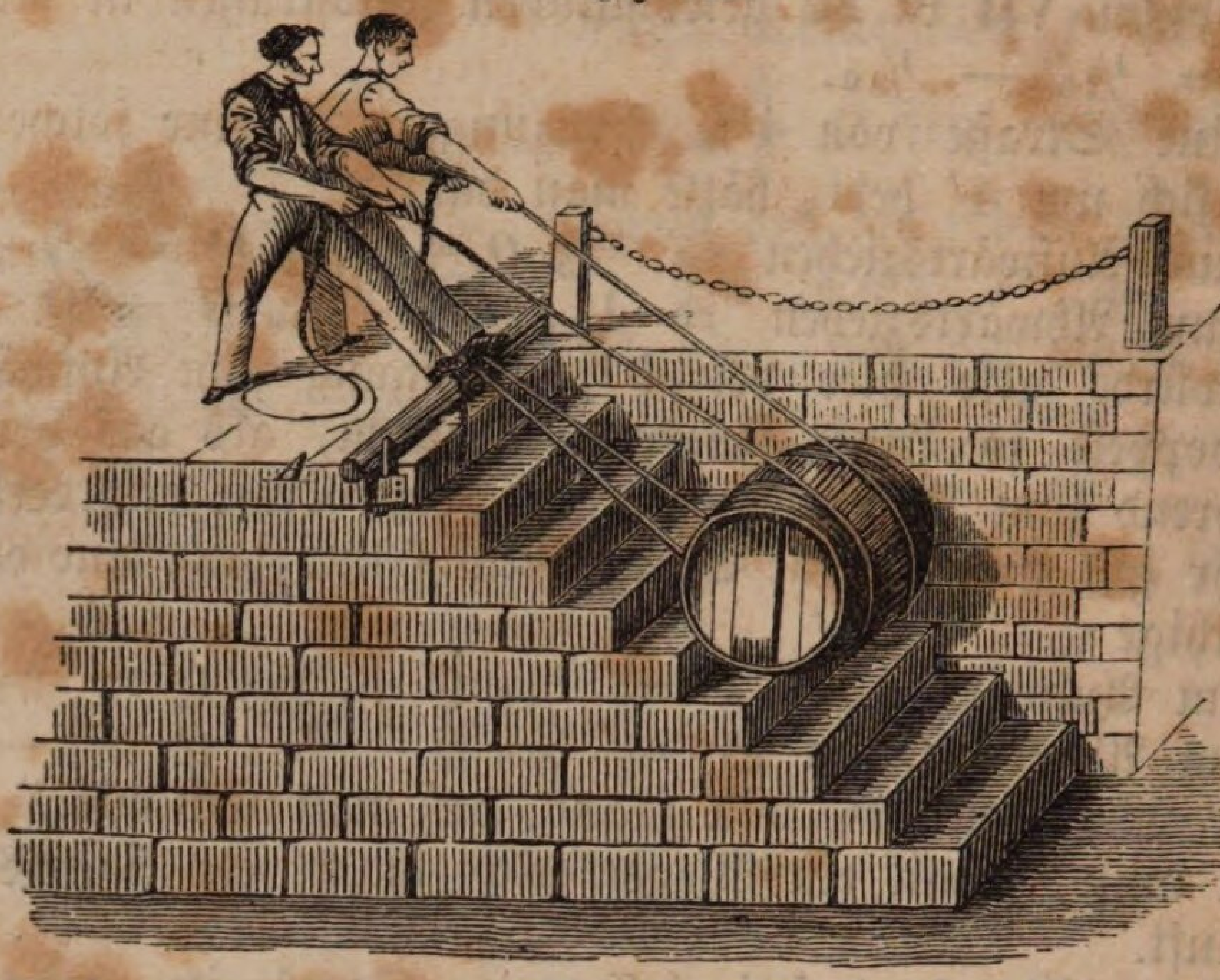
1ste Aufgabe. Wenn auf die durch Fig. 103 dargestellte Weise zwei Arbeiter eine Rampe oder auch eine Treppe hinab ein 3 Centner schweres Faß langsam hinuntergleiten lassen sollen, mit welcher Kraft hat ein jeder Arbeiter das Seil anzuziehen, wenn die Höhe der Treppe (Rampe) 10 Fuß und die Länge derselben 18 Fuß beträgt?

Auflösung. Da von den zwei Seilen, welche um die Last geschlungen sind, jedes mit dem einen Ende an dem Holzstücke A festgeknüpft ist, und am andern Ende durch die Arbeiter gehalten wird, so wird also die Last gleichsam durch vier Seilstücke zurückgehalten, und es stellen die zwei untern Seilstücke, wenn sie straff angezogen und als unbiegsam angenommen werden, eine schiefe Ebene dar. Ziehen die beiden Arbeiter die Seile gleich stark an, so haben diese also überall gleiche Spannung; es sind also vier gleiche Kräfte vorhanden, welche dem Abwärtsgleiten des Fasses entgegenwirken und wovon jede gleich der Kraft ist, mit welcher ein Arbeiter das Seil anspannt.

Ist P eine von diesen Kräften, so ist also die dem Abwärtsgleiten widerstehende Gesammtkraft, ohne Berücksichtigung der nur geringen Reibung, $= 4\,P$.

*) Höchste Steigungen der neuen Kunststraßen in Gebirgen 5 — 8 %. Bei Eisenbahnen 1 : 45 bei Geißlingen in Württemberg, 1 : 40 auf der Sömmeringbahn, 1 : 30 bei englischen Bahnen.

Fig. 103.



Bei den gegebenen Dimensionen ist aber die an der Last wirkende abwärtstreibende Kraft

$$= \frac{10}{18} Q = \frac{10}{18} \cdot 300 \text{ Pfd.}$$

Somit ist für's Gleichgewicht

$$4 P = \frac{10 \cdot 300}{18}; \text{ also}$$

$$P = \frac{10 \cdot 300}{18 \cdot 4} = 41{,}66 \text{ Pfd.}$$

2te Aufgabe. Welche Last kann von einem Pferde bei gewöhnlichem Schritte auf einer guten trockenen Schotterstraße, die 2 % Steigung hat, aufwärts gezogen werden?

Auflösung. Man hat für diesen Fall

$$P = fQ + \frac{h}{l} Q.$$

Die Zugkraft eines Pferdes, das im Schritt vorwärts geht, beträgt durchschnittlich 70 *Kg.*; nach Seite 58 ist für gewöhnliche Frachtwagen $f = 1/_{50}$; folglich hat man

$$70 = 1/_{50}\, Q + 2/_{100}\, Q = 1/_{25}\, Q;$$

woraus sich ergibt:

$$Q = 25 \cdot 70 = 1750 \; Kg.$$

Ein Pferd kann also 1750 *Kg.* = 35 badische Centner aufwärts ziehen, während es abwärts, bei der genannten Steigung und Reibung jede beliebige Last mit dem geringsten Kraftaufgebot nach sich ziehen kann, weil alsdann $f \cdot Q = \frac{h}{l} Q$ ist.

5) Vom Keil.

1) Der Keil, Fig. 104, ist aus zwei schiefen Ebenen, deren Grundlinien aufeinander liegen, zusammengesetzt. Man nennt ***AB*** den

Fig. 104.

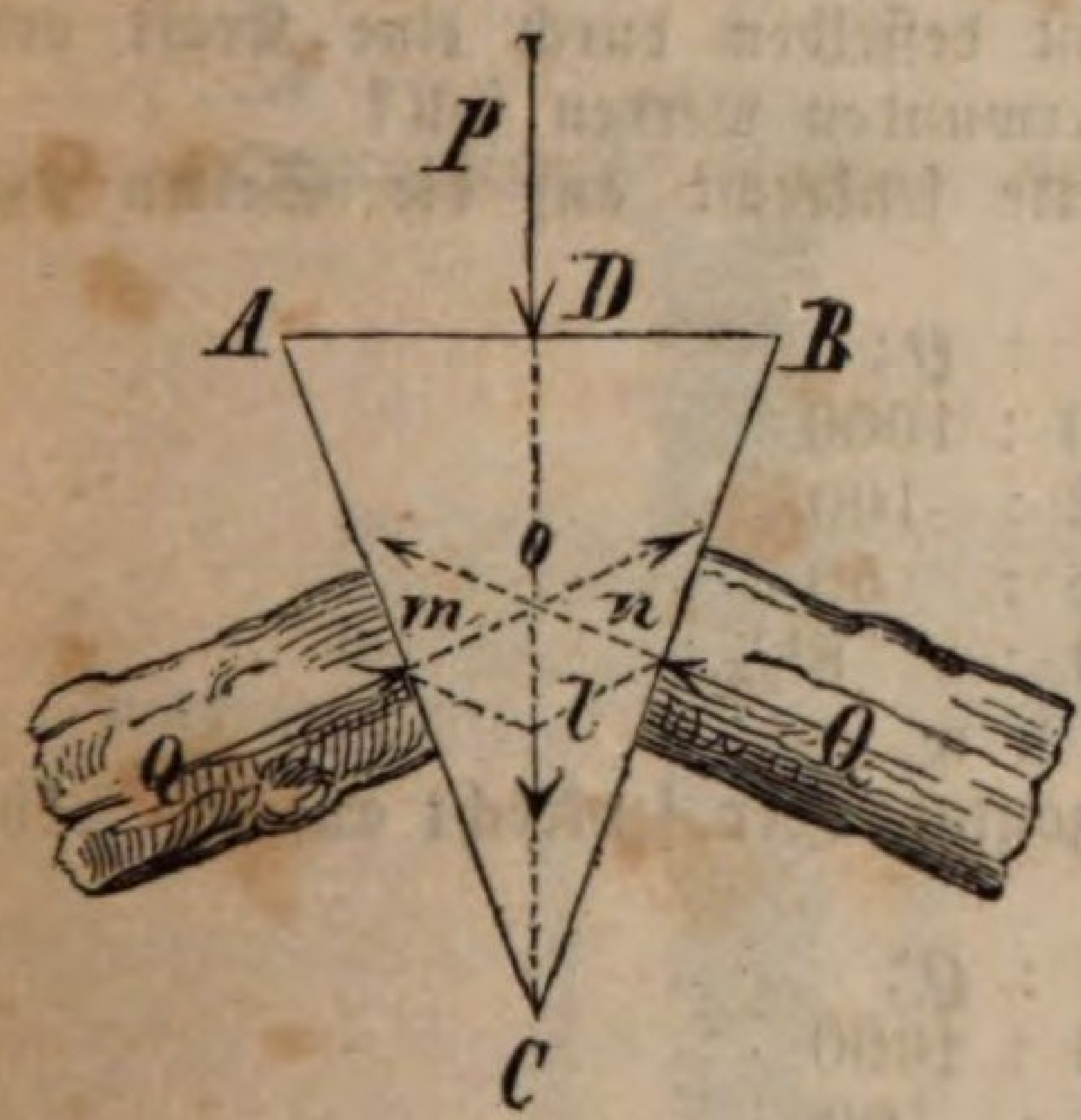


Rücken, AC die Seite und DC die Höhe des Keils. Der Gebrauch des Keils besteht darin, daß die Kraft auf den Rücken des Keiles wirkt, wobei dann von den Seiten ein Druck auf die Körper ausgeübt wird, zwischen welche man den Keil eintreibt.

2) Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Kraft und Last ist zu unterscheiden, ob letztere, d. h. der zu überwindende Widerstand, senkrecht auf die Seiten des Keils oder senkrecht auf dessen Höhe wirkt.

Im ersten Fall sieht man leicht ein, daß die Kraft P, wie Fig. 105 zeigt, die Mittlere der doppelten widerstehenden Kraft Q ist. Es wird also P durch die Diagonale ol, der doppelt vorhandene Widerstand Q aber durch die gleichen Parallelogrammseiten om und on vorgestellt. Da aber das $\triangle\ olm$ dem $\triangle\ ABC$ ähnlich ist, so stellt auch AB die Kraft P und AC den Widerstand Q vor.

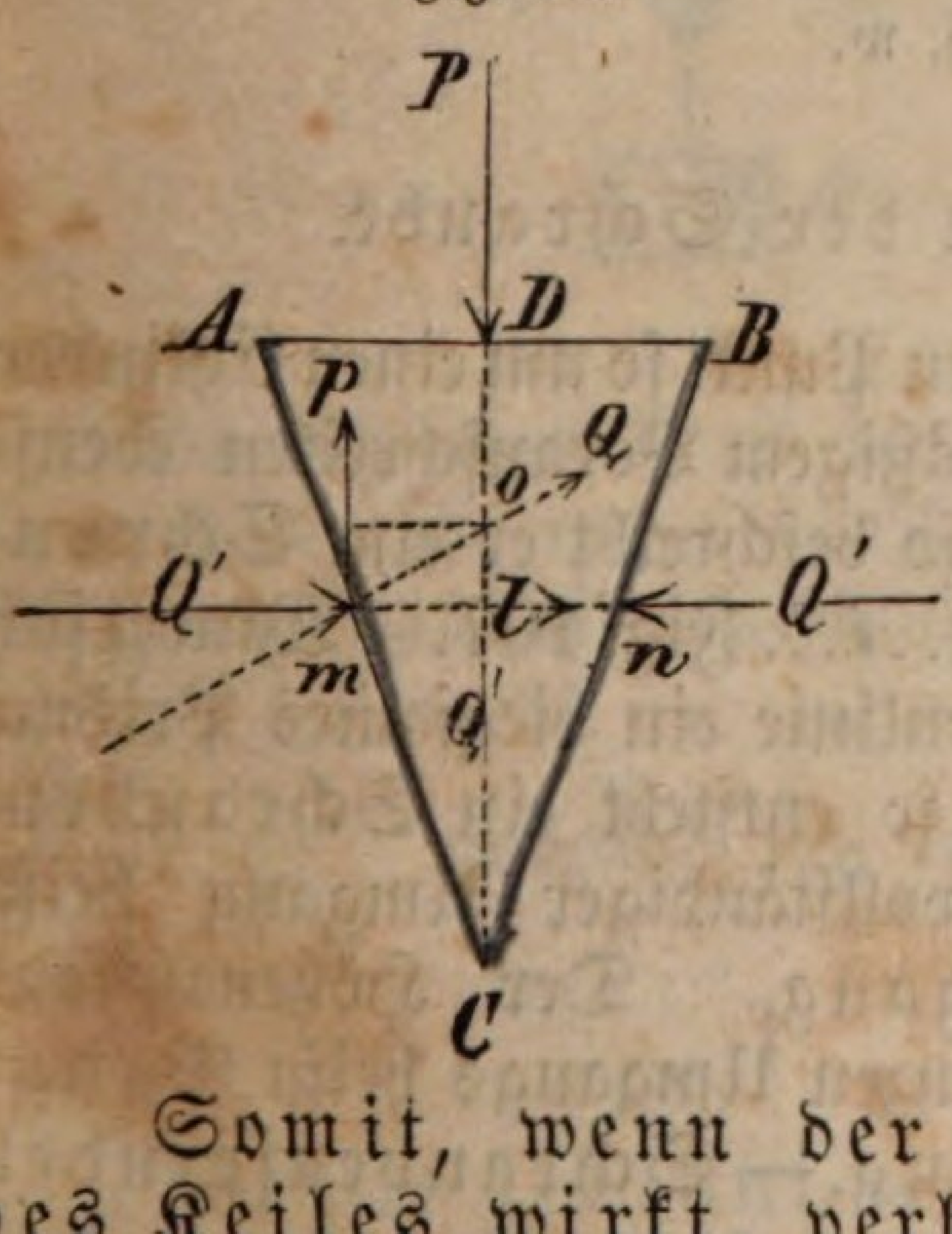
Fig. 105.



(Es verhält sich also, wenn der Widerstand senkrecht auf die Seiten des Keils wirkt, die Kraft zur Last wie der Rücken des Keils zu dessen Länge.)

3) Wirkt der Widerstand aber senkrecht auf die Höhe des Keils, so vermag die nämliche Kraft keinen so großen Widerstand zu überwinden. In diesem Fall ist der Widerstand Q' nur eine Seitenkraft von Q, wie Fig. 106 deutlich macht, und zwar ist

Fig. 106.



$$Q' = \frac{ml}{mo} Q; \text{ oder da } \frac{ml}{mo} = \frac{CD}{AC} \text{ ist,}$$

$$Q' = \frac{CD}{AC} \cdot Q; \text{ folgl. da } Q = \frac{AC}{AB} P \text{ ist,}$$

$$Q' = \frac{CD}{AC} \cdot \frac{AC}{AB} \cdot P = \frac{CD}{AB} P.$$

Somit, wenn der Widerstand senkrecht auf die Höhe des Keiles wirkt, verhält sich die Kraft zur Last, wie der Rücken des Keils zu dessen Höhe.

4) Anwendungen des Keiles sind alle Stech- und Schneidwerk-

zeuge, Nadeln, Messer 2c. Sodann wird der Keil angewendet bei Pressen und namentlich zum Trennen und Befestigen der Körper. — Ueberall ist der Reibungswiderstand sehr groß und darauf gerade stützt sich seine Anwendung als Befestigungsmittel. Bei Pressen aber verringert man die Reibung durch angebrachte sogen. Frictionsrollen.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welcher Widerstand kann vermittelst eines Keiles, dessen Rücken = 4″ und dessen Seite = 15″ ist, durch eine Kraft von 180 Pfd. überwunden werden, wenn der Widerstand senkrecht auf die Seiten des Keiles wirkt, und wenn auf Reibung keine Rücksicht genommen wird?

Auflösung. Nach Satz 2 verhält sich Kraft : Last = Rücken : Seite;
also $180 : Q = 4 : 15$;
folglich beträgt der Widerstand $Q = \frac{180 \cdot 15}{4} = 675$ Pfd.,
welcher von jeder Seite wirken kann.

2te Aufgabe. Nach welchen Verhältnissen muß ein Keil construirt werden, wenn — abgesehen von der Reibung — vermittelst desselben durch eine Kraft von 120 Pfd. ein Widerstand von 1000 Pfd. überwunden werden soll?

Auflösung. 1ster Fall: der Widerstand wirke senkrecht auf die Seiten des Keils. Alsdann muß sich verhalten:

$$\text{Rücken} : \text{Seite} = P : Q;$$

folglich

$$\text{Rücken} : \text{Seite} = 120 : 1000 = 12 : 100 = 6 : 50 = 1 : 8\tfrac{1}{3}.$$

u. s. w.

2ter Fall: der Widerstand wirke horizontal, oder senkrecht auf die Höhe des Keils. In diesem Falle verhält sich

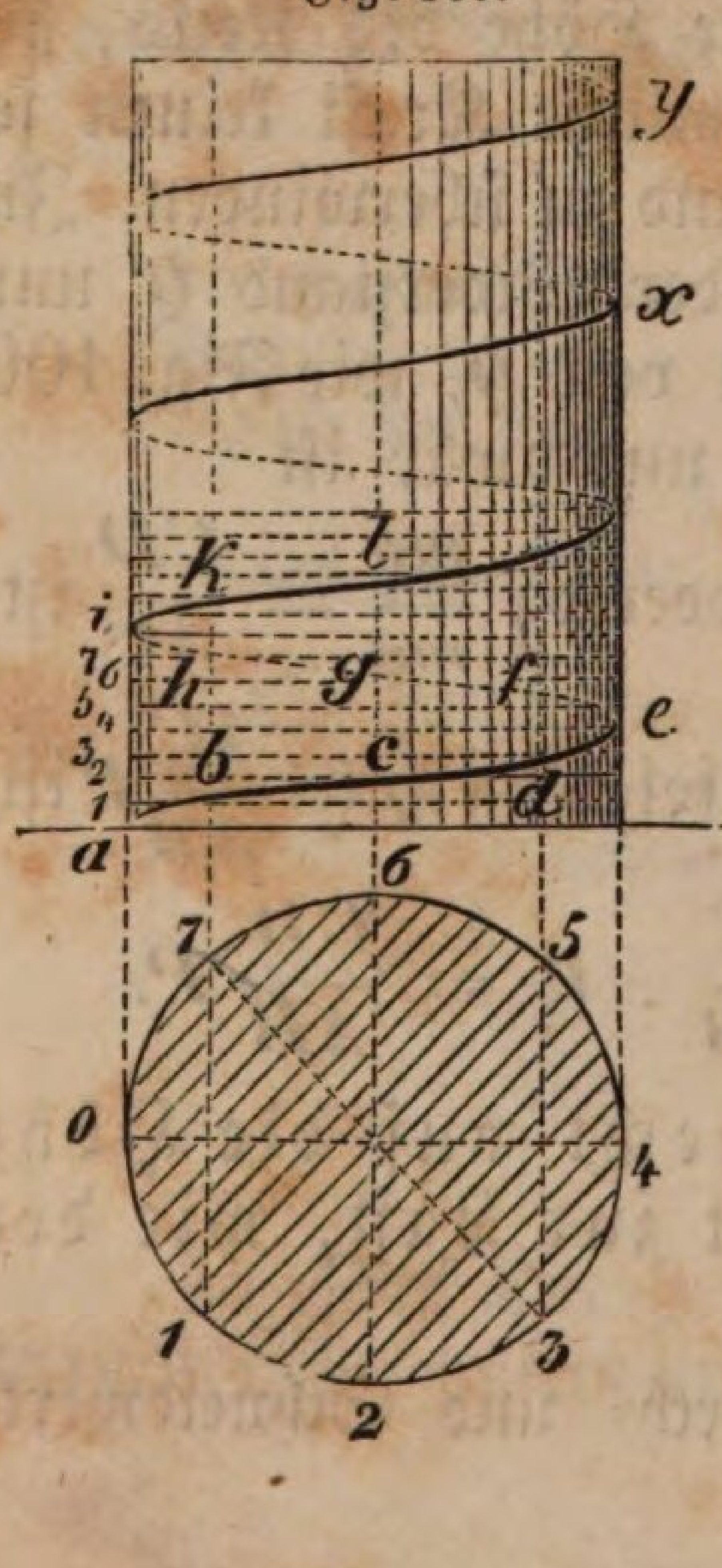
$$\text{Rücken} : \text{Höhe} = P : Q;$$

also

$$\text{Rücken} : \text{Höhe} = 120 : 1000 = 12 : 100 = 1 : 8\tfrac{1}{3}.$$

u. s. w.

Fig. 107.



6) Von der Schraube.

1) Bewegt sich ein Punkt so um einen Cylinder, daß er bei gleichmäßigem Voranschreiten ebenso gleichmäßig steigt, so beschreibt er eine Schraubenlinie *abc..e....i...* Fig. 107.—Windet sich auf dieser Schraubenlinie ein biegsames Prisma um den Cylinder, so entsteht ein Schraubengewinde. Ein vollständiger Umgang heißt ein Schraubengang. Der Höhenabstand $ai = xy$ eines ganzen Umgangs heißt Ganghöhe oder Steigung.—Schraubenspindel. Schraubenmutter.

Dreieckige oder scharfe Schraube Fig. 108.
Viereckige oder flache Schraube Fig. 109.

Fig. 108.



Fig. 109.



Rechts- und linksgewundene, einfache (eingängige), doppelte (zweigängige) 2c. Schrauben.

2) Ist Q, Fig. 110, eine Last, welche durch Umdrehung einer Schraube gehoben, oder ein Druck, der wie in Fig. 111 erzeugt wird, so wird sich in beiden Fällen bei einer Umdrehung der Spindel der Angriffspunkt der Last um eine Ganghöhe heben oder senken. Dabei durchläuft aber der Angriffspunkt der Kraft immer den Umfang eines Kreises.

Fig. 110.

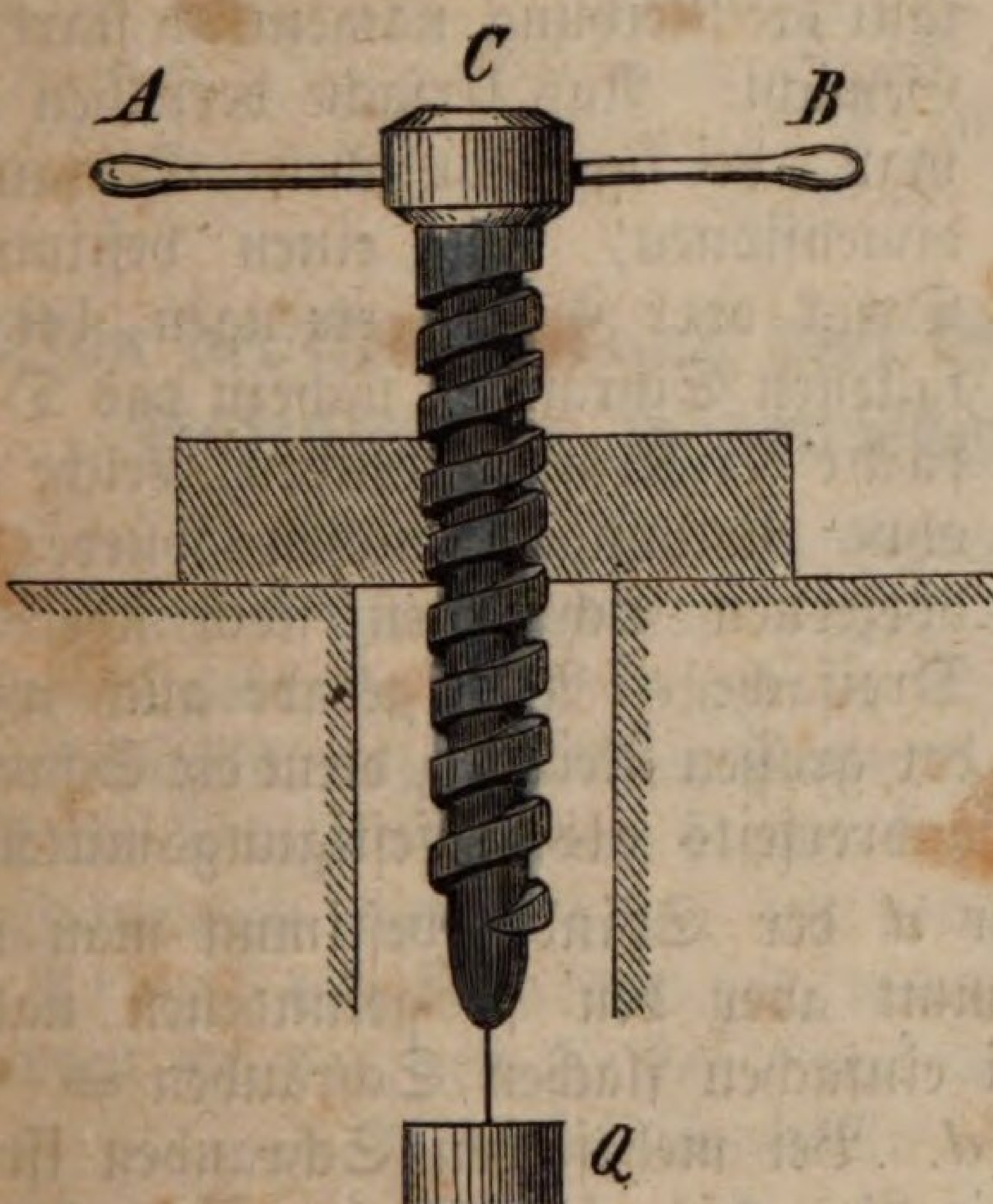
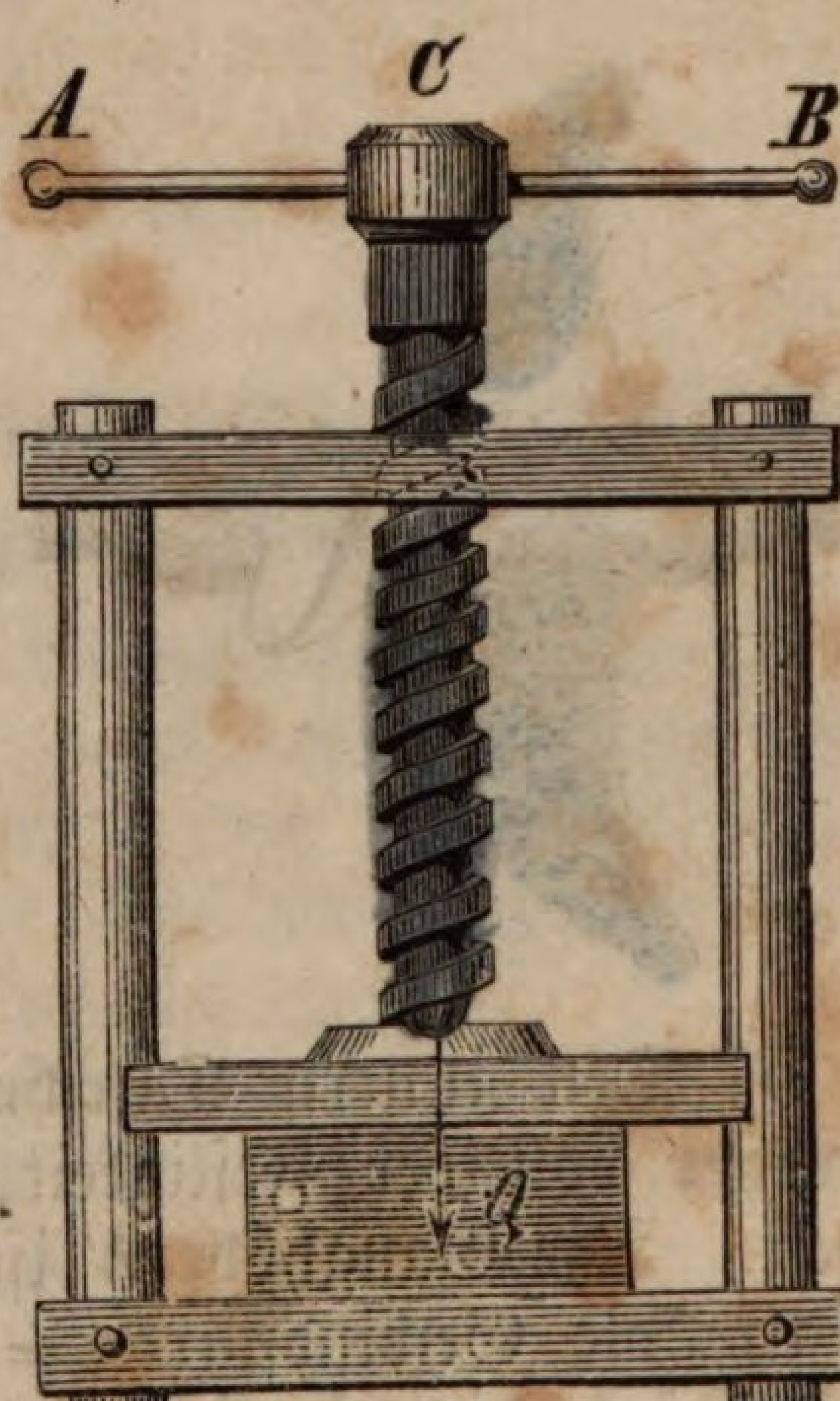


Fig. 111.



Da sich aber Kraft und Last umgekehrt, wie ihre Wege verhalten, so verhält sich, wenn h die Ganghöhe und R den Halbmesser des vom Kraftangriffspunkt durchlaufenen Kreises bezeichnet,

$$P : Q = h : 2 R \pi,$$

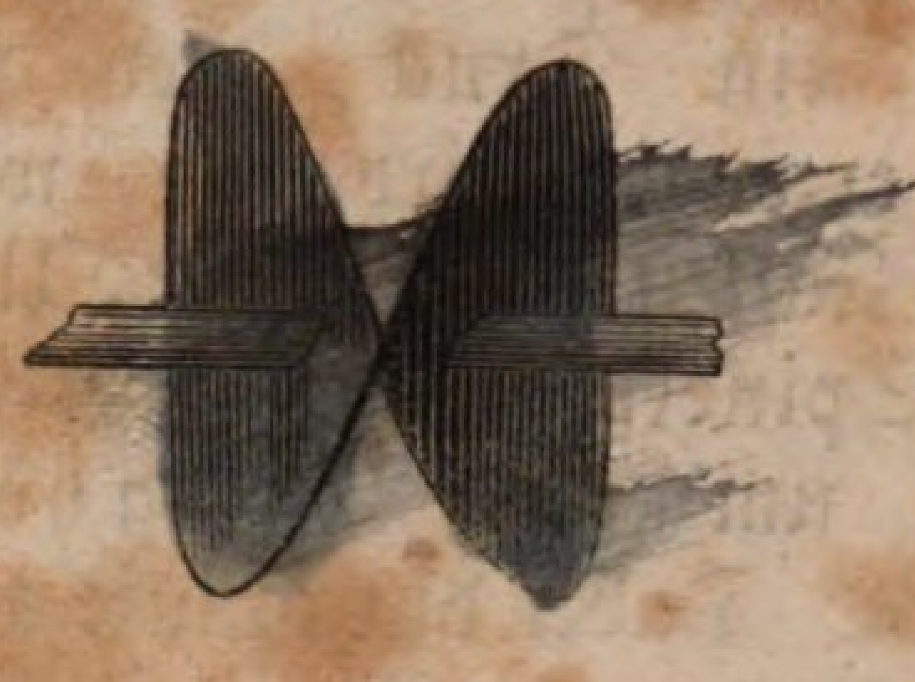
woraus sich ergiebt $P = \frac{h}{2 . R . \pi} . Q,$

$$\text{und } Q = \frac{2 . R . \pi}{h} . P.$$

Somit gewinnt man vermittelst der Schraube das Sovielfache an Kraft, als die Ganghöhe in dem Umfange des Kreises, den der Kraftangriffspunkt bei einer Umdrehung beschreibt, enthalten ist.

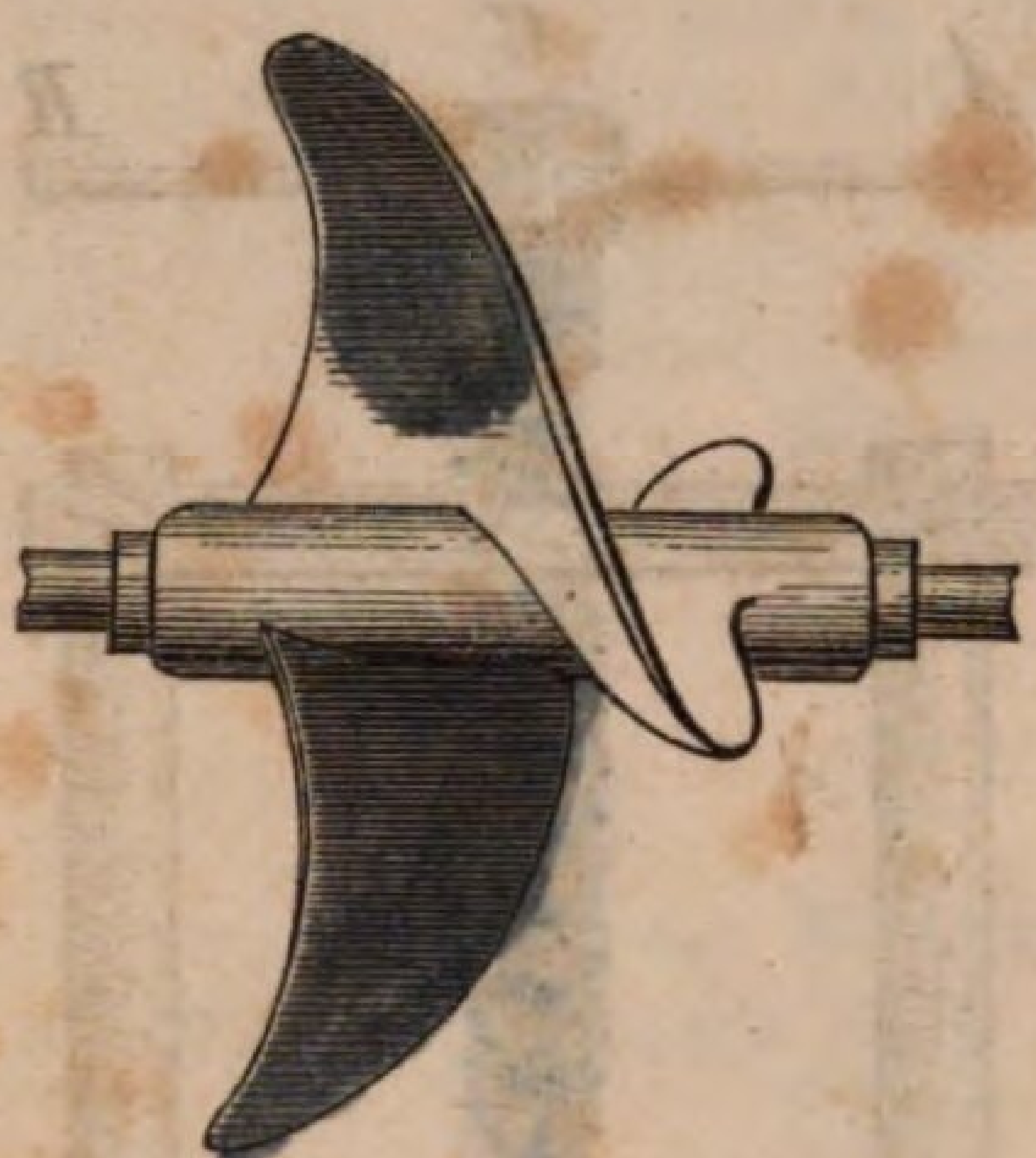
3) Die Schraube dient sehr mannigfach, und zwar zum Verbinden und Festhalten, als Holzschraube, Stellschraube, Klemmschraube ꝛc., sodann zu Pressen, zum Heben von Lasten, zu feinen Messungen als Mikrometerschraube, und selbst als Bewegungsmittel bei den Schraubendampfern. — Bei letztern ist im Hintertheil des Schiffs in dessen Längsrichtung eine Schraubenspindel von der Form Fig. 112 und 113 angebracht, welche durch eine Dampfmaschine in sehr rasche Umdrehung versetzt wird und so sich in das Wasser hineinbohrt. — Vortheile der Schraubendampfer. —

Fig. 112.



Zweck der Schraubengewinde in sogen. gezogenen Läufen.

Fig. 113.



4) Bei der Anwendung der Schraube fällt die Reibung namentlich stark in's Gewicht. Aus Ursache derselben muß man bei gewöhnlichen Schraubendimensionen, um einen bestimmten Druck oder Zug zu erzeugen, bei metallenen Schrauben nahezu das Dreifache der Kraft anwenden, welche man ohne Reibung brauchen würde; bei hölzernen Schrauben noch über das Dreifache. — Aber gerade auch wegen der großen Reibung dient die Schraube andrerseits als Befestigungsmittel.

5) Den innern Durchmesser d der Spindel bestimmt man nach der Lehre von der Festigkeit, nimmt aber den so gefundenen nahezu doppelt. Die Ganghöhe h ist bei einfachen flachen Schrauben $= \frac{1}{4}\, d$ und also die Gewindstärke $= \frac{1}{8}\, d$. Bei mehrfachen Schrauben ist die Gewindstärke die nämliche, aber die Ganghöhe sovielmal größer als Gewinde vorhanden sind.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Kraft braucht man, um vermittelst einer Schraube einen Druck von 2000 Pfd. auszuüben, wenn die Ganghöhe $h = 1$ Zoll und der Hebelarm der Kraft $= 2$ Fuß ist?

Auflösung. Setzt man mit Berücksichtigung der Reibung

$$P = \frac{5}{2} \cdot \frac{h}{2 \,.\, R \,.\, \pi}\, Q, \text{ so giebt dies: } P = \frac{5 \,.\, 1 \,.\, 2000}{2 \,.\, 2 \,.\, 20 \;\; 3{,}14}$$

d. i. nahezu $P = 40$ Pfd.

2te Aufgabe. Man soll eine Schraubenpresse verfertigen, vermittelst welcher durch zwei Kräfte, wovon jede $= 15$ *Kg.* ist, ein Druck von 4000 *Kg.* ausgeübt werden kann; nach welchen Verhältnissen muß die Schraube construirt werden?

Auflösung. Nach S. 62 und 64 ist für ganz gutes Schmiedeisen der Sicherheitsmodul der absoluten und rückwirkenden Festigkeit zu 1000 *Kg.* anzunehmen.

Dies gibt als aufzunehmende Belastung $Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 1000$; also

$$4000 = \frac{3{,}14 \cdot d^2}{4} \cdot 1000;$$

somit $$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 4000}{3{,}14 \cdot 1000}} = 2{,}25 \text{ Centimeter},$$

wofür wir nach Obigem als innern Spindeldurchmesser $d = 4$ Centimeter setzen wollen.

Die Ganghöhe h zu $^2/_8\, d$ angenommen, gibt $h = \frac{2 \cdot 4}{8} = 1$ Centimeter. Die Gewindbreite und Dicke $b = {}^1/_2\, h$ beträgt sodann $^1/_2$ Centimeter, und somit der mittlere Schraubendurchmesser $\frac{4 + 5}{2} = 4^1/_2$ Centimeter.

In die Formel $P = 3 \cdot \frac{h}{2\,R\,\pi}\, Q$ substituirt, gibt

$$30 = \frac{3 \cdot 1 \cdot 4000}{2 \cdot R \cdot 3{,}14}$$

d. i. $$R = \frac{3 \cdot 4000}{30 \cdot 2 \cdot 3{,}14} = 63{,}6 \text{ Centimeter}.$$

X. Von der Anwendung und Verbindung der mechanischen Potenzen zu zusammengesetzten Maschinen.

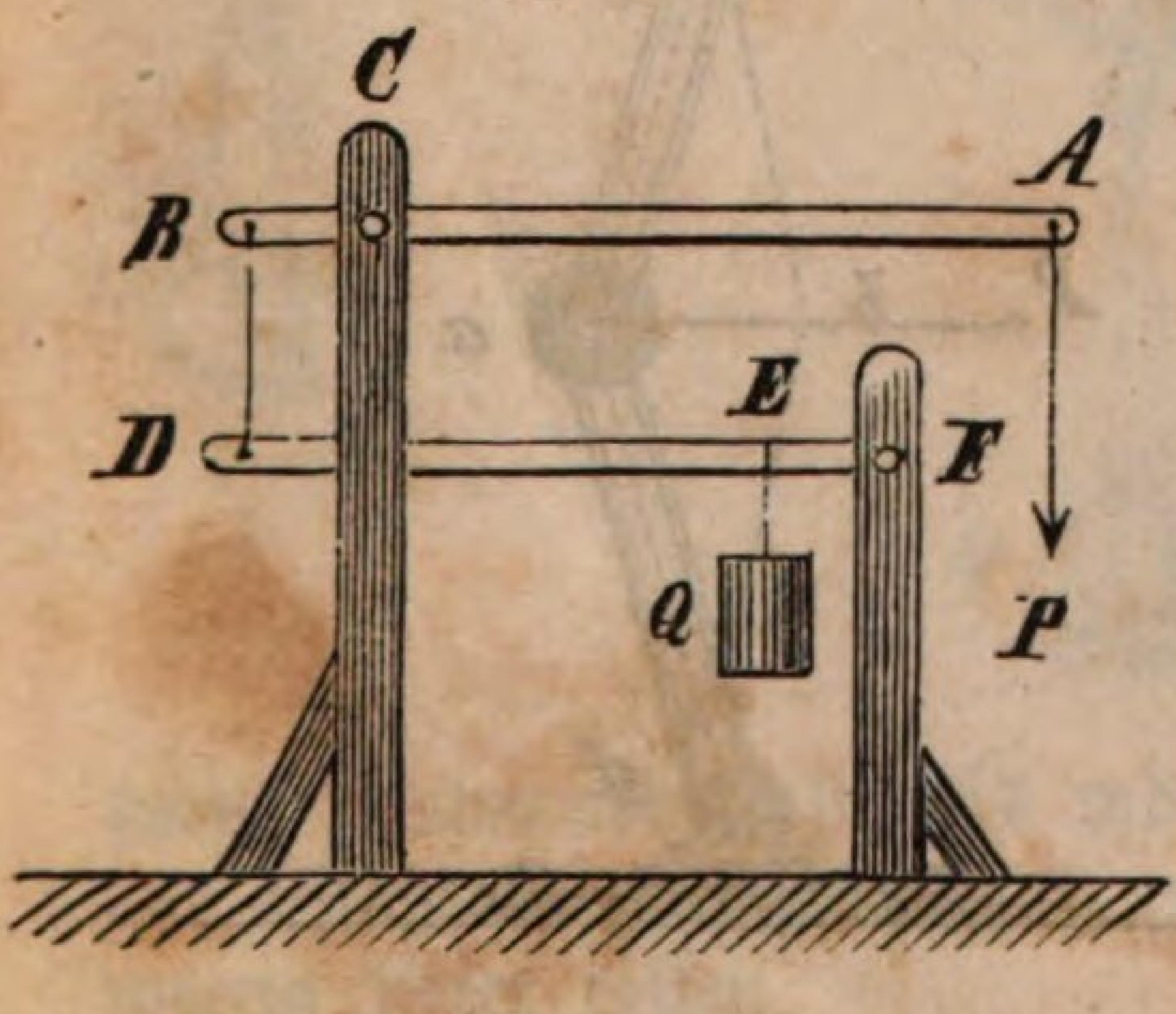
Die Verbindungen der verschiedenen Elementarmaschinen zu zusammengesetzten Mechanismen haben den Zweck, entweder mit einer geringen Triebkraft große Lasten zu überwinden, oder aber eine geringe Geschwindigkeit des Kraftangriffspunktes in eine bedeutende Geschwindigkeit des arbeitenden oder sogen. Lastpunktes umzusetzen.

Immerhin aber gilt das im vorigen Abschnitt aufgestellte Gesetz: „die Arbeit der Kraft muß, wenn auch keine Bewegungshindernisse vorhanden wären, der Arbeit der Last gleich sein,"

d. h. es ist immerhin $P \,.\, s = Q \,.\, s'$.

A. Von den Hebelverbindungen.

Fig. 114.



1) Sind zwei Hebel miteinander verbunden, wie Fig. 114, und es wären die Arme *EF* und *DF* des einarmigen Hebels *DF* = 1 und 6, so müßte die in *D* nöthige Kraft, um *Q* das Gleichgewicht zu halten, $^1/_6\, Q$ betragen. — Wäre ebenso an dem zweiarmigen Hebel *AB* der Arm *AC* 5 mal größer als *BC*, so brauchte die in *A* wirksame Kraft *P* nur $^1/_5$ des Zuges in *B* sein, um mit diesem, also auch mit der Last *Q* im Gleich-

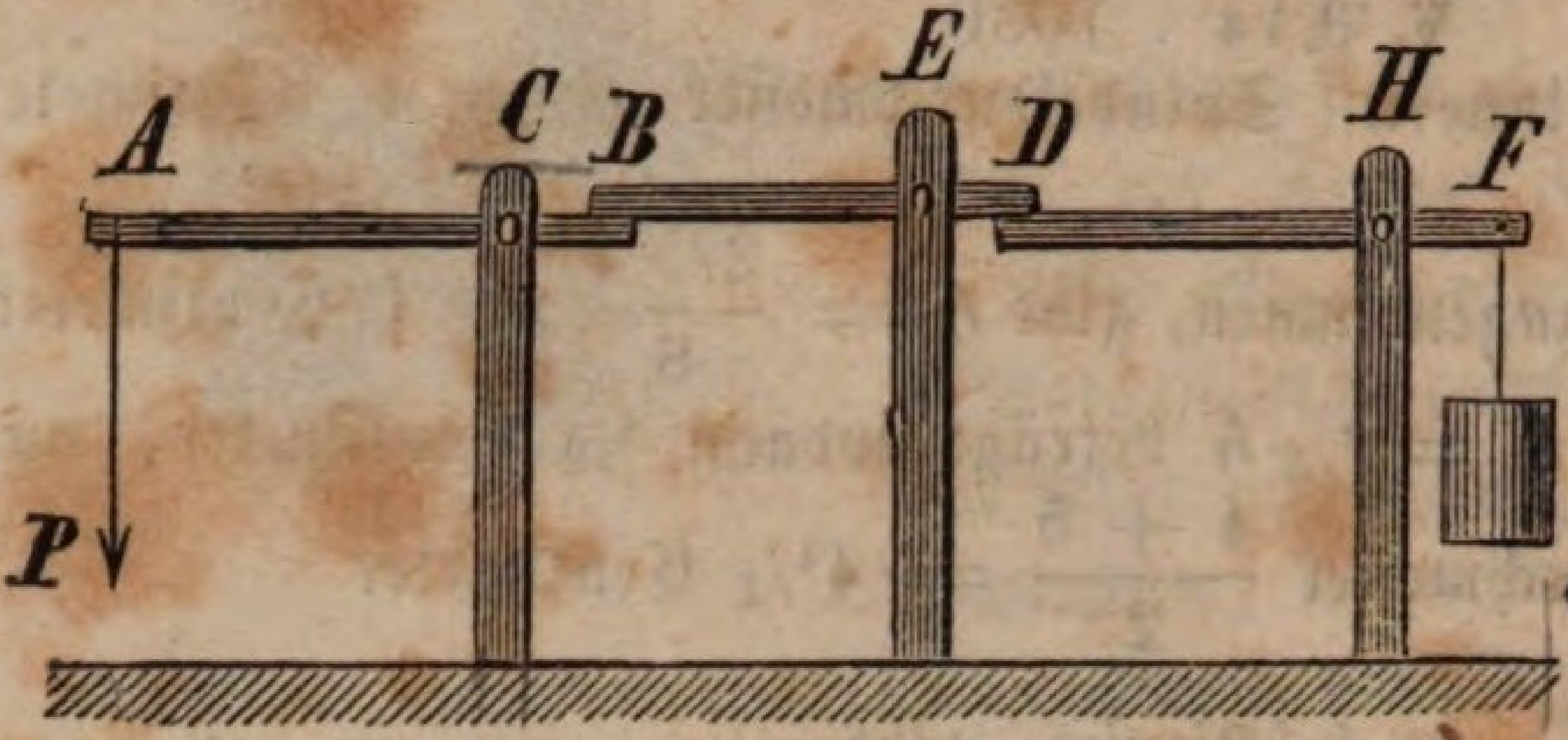
gewicht zu sein. Da der Zug in B aber $1/6\ Q$ ist, so müßte

$$P = 1/5 \,.\, 1/6\ Q = 1/30\ Q$$

d. i. allgemein $P = \frac{BC \,.\, EF}{AC \,.\, DF}\ Q$ sein, woraus sich ergibt

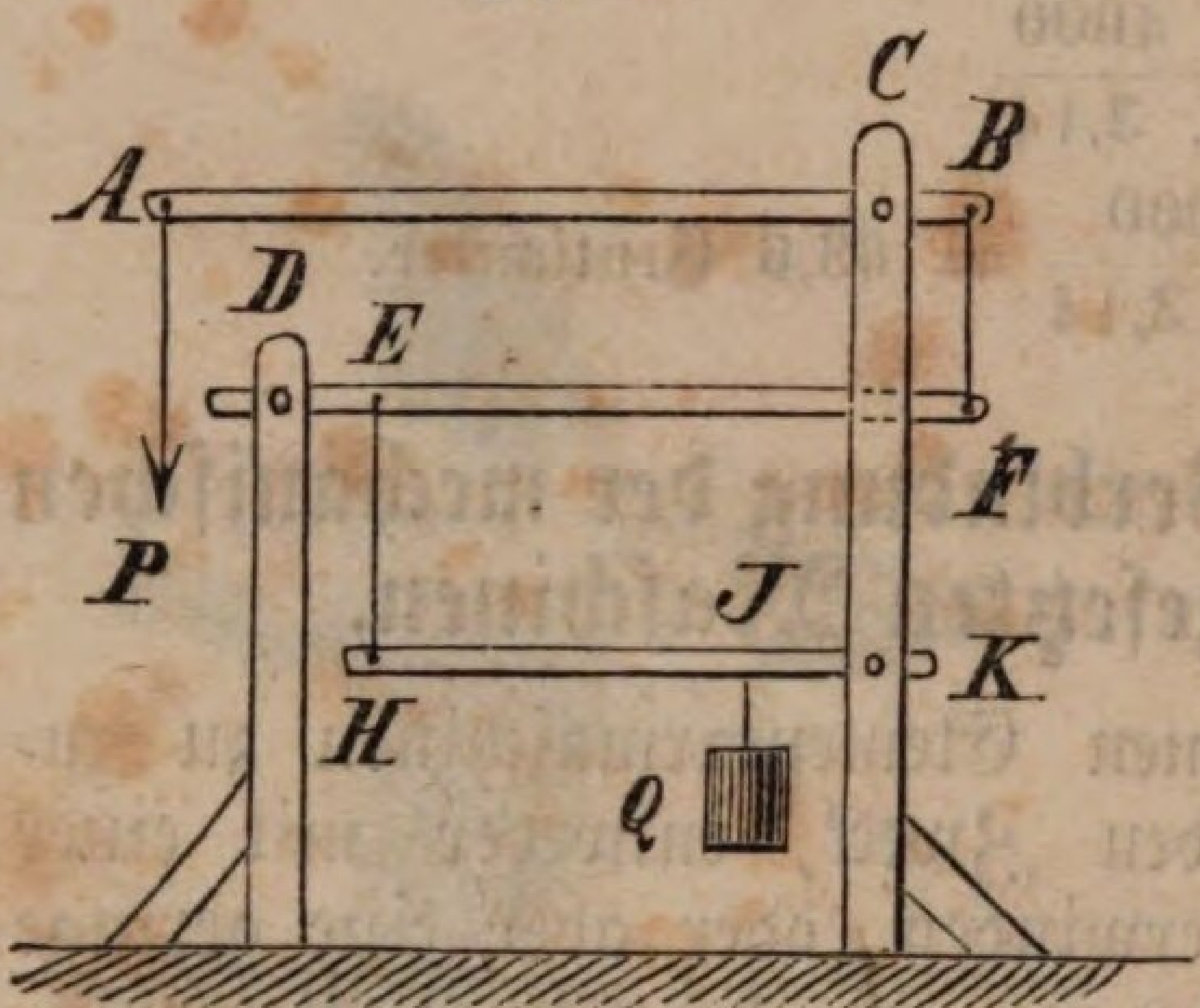
$$P \,.\, AC \,.\, DF = Q \,.\, BC \,.\, EF.$$

Fig. 115.



Es ist also das Produkt der Kraft in die längern Hebelarme immer gleich dem Produkte der Last in die kürzern Hebelarme, d. h. soviel mal das kleinere Produkt in dem größern enthalten ist, einen sovielfachen Kraftgewinn erhält man.

Fig. 116.



Hiebei wirkt bei Maschinen, mit denen man Lasten heben will, die Kraft immer am längern Arm des ersten Hebels; bei allen Verbindungen aber ist der kürzere Arm des einen Hebels mit dem größern des folgenden Hebels verbunden.

Sind mehr als zwei Hebel miteinander verbunden, wie in Fig. 115 und 116, so verhält sich die Sache wie vorhin. Es ist nämlich für's Gleichgewicht

für Fig. 115: $P \,.\, AC \,.\, BE \,.\, DH = Q \,.\, BC \,.\, DE \,.\, FH$;
und für Fig. 116: $P \,.\, AC \,.\, DF \,.\, HK = Q \,.\, BC \,.\, DE \,.\, JK$.

Fig. 117.

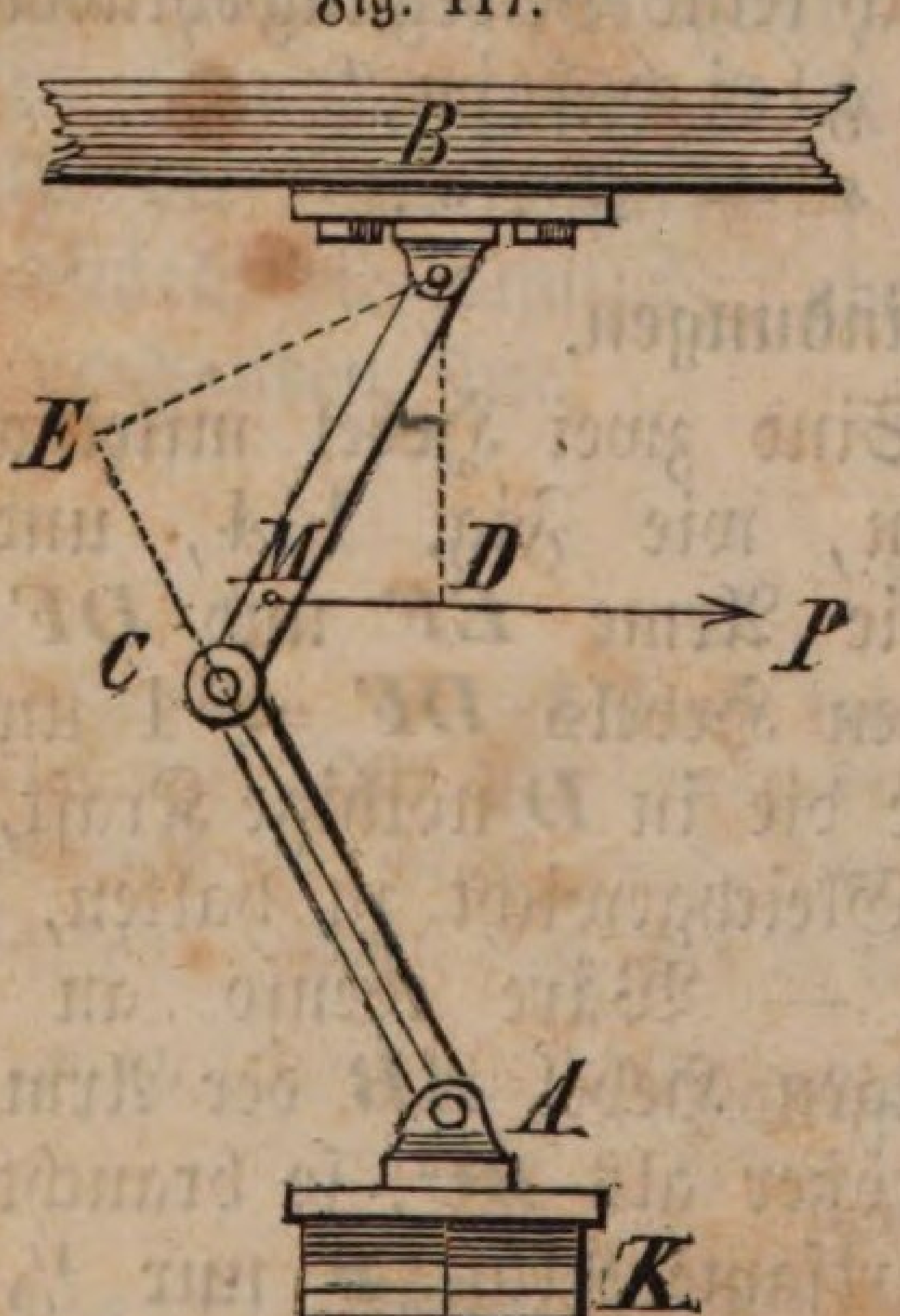
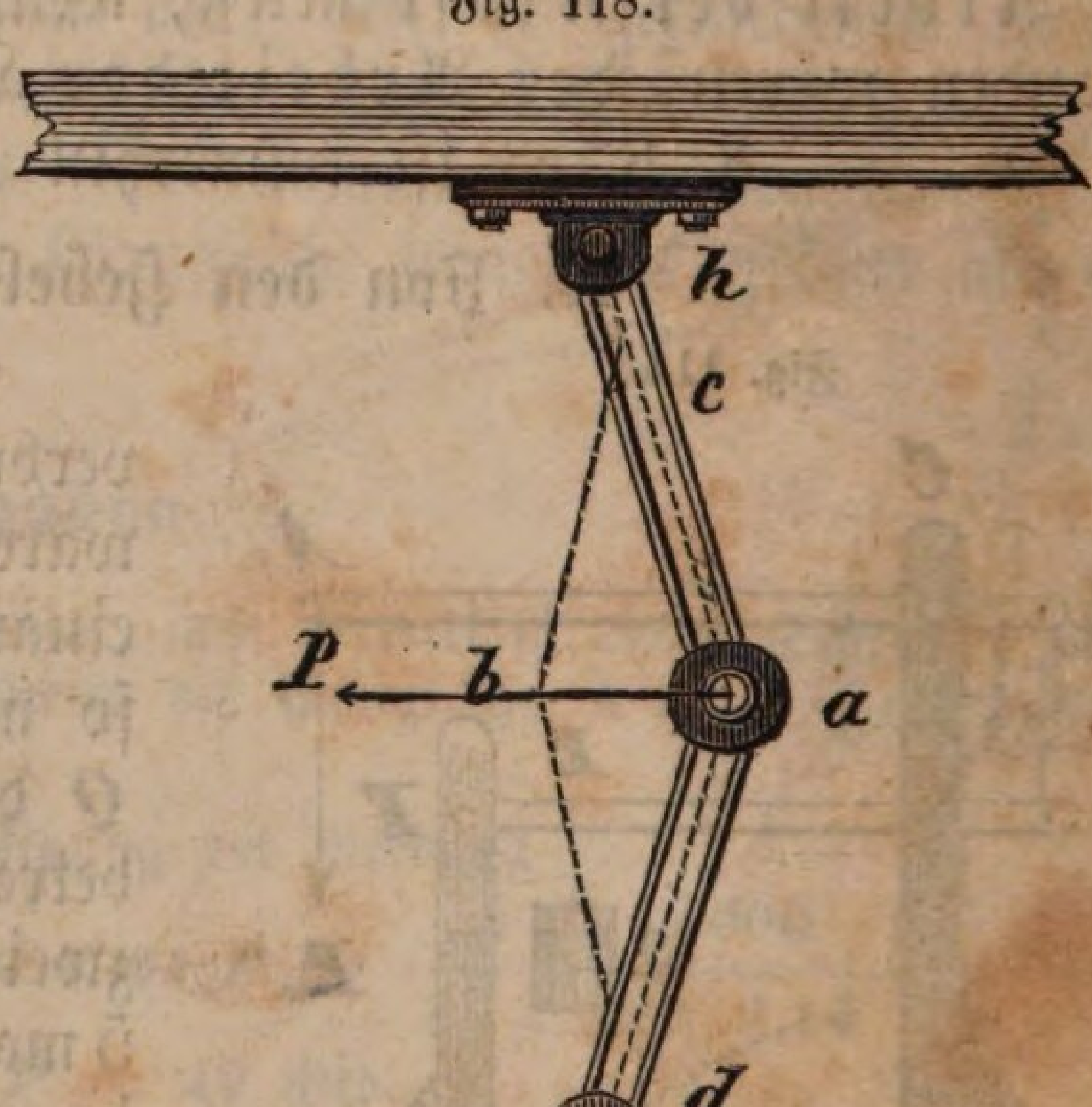


Fig. 118.



2) Bei dem sogen. **Kniehebel**, Fig. 117, bei welchem die Kraft P in M angreift und dessen Stützpunkt B ist, hat man

$$P \,.\, BD = Q \,.\, BE,$$

oder es verhält sich $P : Q = BE : BD$.

Je mehr sich nun das Knie streckt, desto kleiner wird BE, während BD wächst. Da das Verhältniß von BE zu BD das Verhältniß zwischen Kraft und Last ausdrückt, so ergibt sich, daß je gerader das Knie wird, desto größer der in K ausgeübte Druck ist.

Hat das Knie die Form Fig. 118, so ist die Wirkungsfähigkeit der Maschine die nämliche, d. h. auch dort kann man mit geringer Kraft einen außerordentlich großen Druck ausüben.

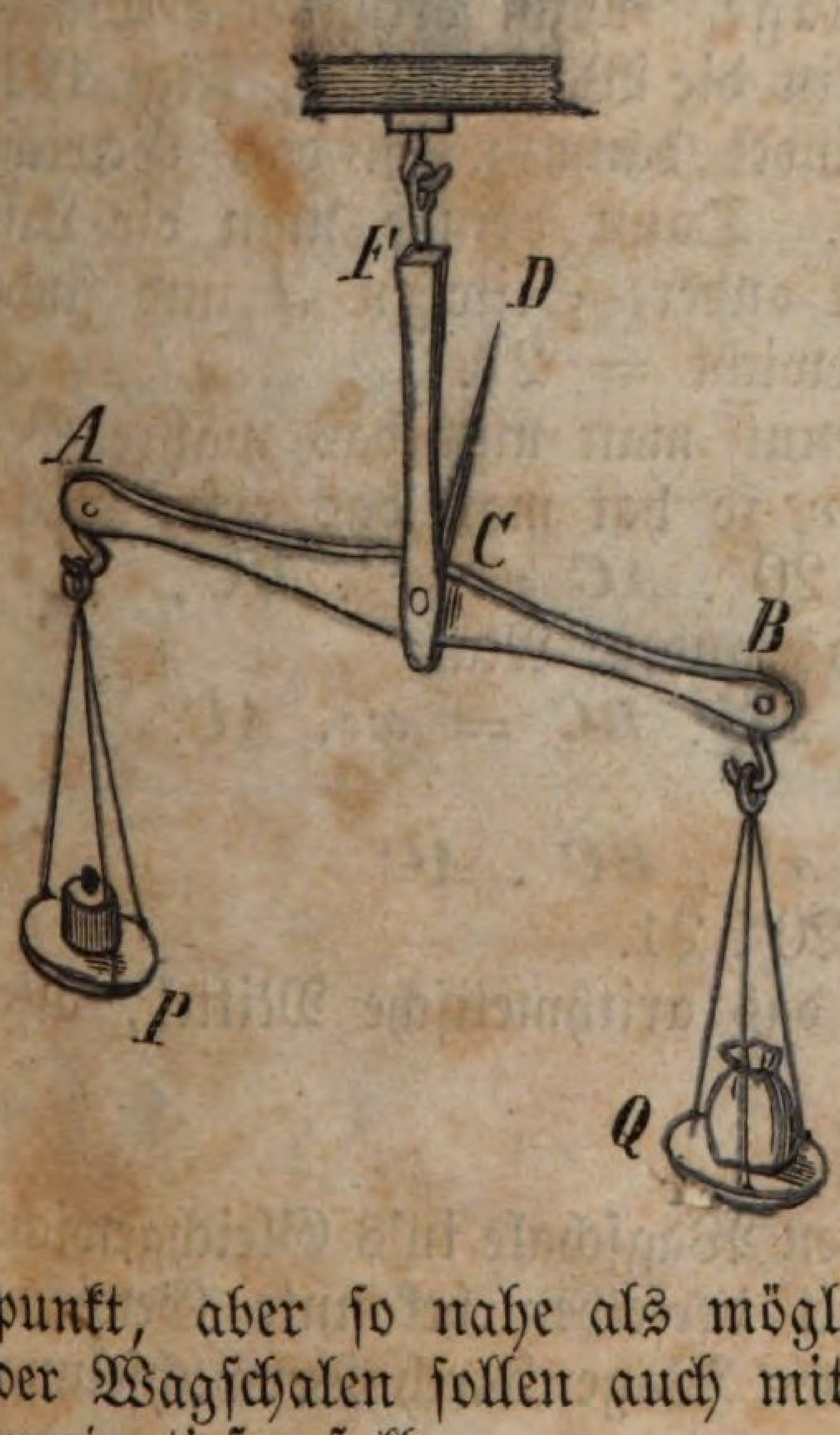
Von den Wagen.

Man unterscheidet: gleicharmige oder gemeine Wagen, ungleicharmige oder Schnellwagen, Zeigerwagen, Brückenwagen und Federwagen. — Die drei erstgenannten Wagen sind bloß verschiedene Hebelformen. Die Brückenwagen sind Hebelverbindungen. Die Federwagen aber beruhen auf der Elasticität der Stahlfedern.

1. Die gemeine oder Krämerwage.

1) Diese ist ein gleicharmiger Hebel. Darum ist bei ihr Kraft = Last. — Es ist Fig. 119 AB der Wagbalken, CD die Zunge, CF die sogen. Scheere und C die Axe.

Fig. 119.



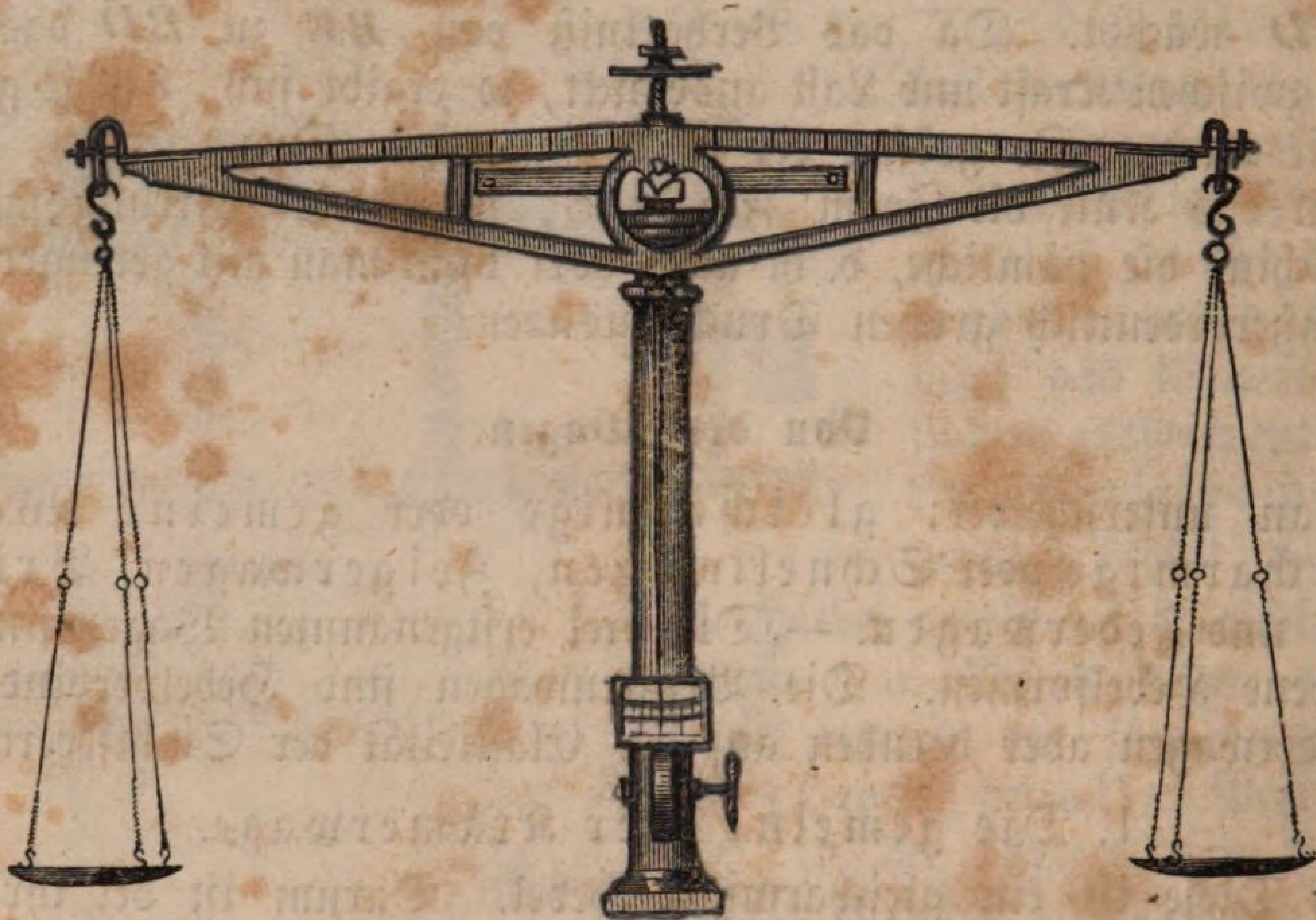
Die Erfordernisse einer guten Krämerwage sind, daß sie einspielt und Empfindlichkeit und Stabilität besitzt.

Eine Wage spielt ein, wenn im unbelasteten oder gleichbelasteten Fall der Wagbalken vollkommen horizontal liegt und die Zunge mit der Scheere zusammenfällt. Dies erfordert genau gleich lange und gleich schwere Arme.

Empfindlichkeit und Stabilität besitzt die Wage, wenn sie beim geringsten Uebergewicht einen Ausschlag gibt, bei Entfernung desselben aber wieder in die horizontale Lage zurückkehrt. — Damit beides der Fall ist, baut man die Wagen leicht, gibt ihnen möglich lange Arme und bringt den Schwerpunkt unter dem Stützpunkt, aber so nahe als möglich an. Die Aufhängepunkte A und B der Wagschalen sollen auch mit dem Stützpunkte C in eine Gerade oder wenig tiefer fallen.

Damit der Schwerpunkt etwas unter den Stützpunkt zu liegen komme, was bewirkt, daß die Wage immer wieder in ihre horizontale Lage zurückkehrt, erhält der Wagbalken die Form Fig. 120. Dort

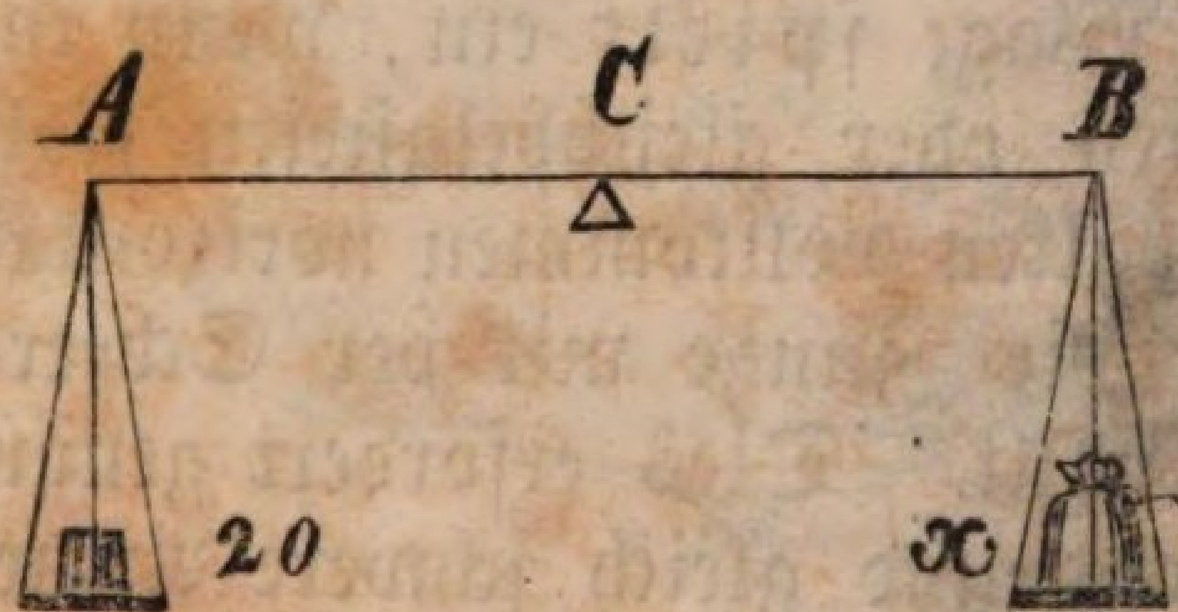
Fig. 120.



kann auch durch, am Ende des Wagbalkens angebrachte Schrauben die geringste Ungleichheit in der Länge der Arme ausgeglichen werden.

2) Abwägen mit falscher Wage. Man bringt die Waare zuerst in die Wagschale *B*, Fig. 121, und findet dann z. B. das Gewicht = 20. Dann bringe man die Last auf die andere Seite in *A* und finde ihr Gewicht = 21.

Fig. 121.



Nennt man nun das wahre Gewicht x, so hat man das erste Mal:

$$20 \, . \, AC = x \, . \, BC,$$

und das andere Mal:

$$21 \, . \, BC = x \, . \, AC.$$

Durch Multiplication gibt dies:

$$20 \, . \, 21 \, . \, AC \, . \, BC = x^2 \, . \, BC \, . \, AC$$

$$\text{folglich } x = \sqrt{20 \, . \, 21}.$$

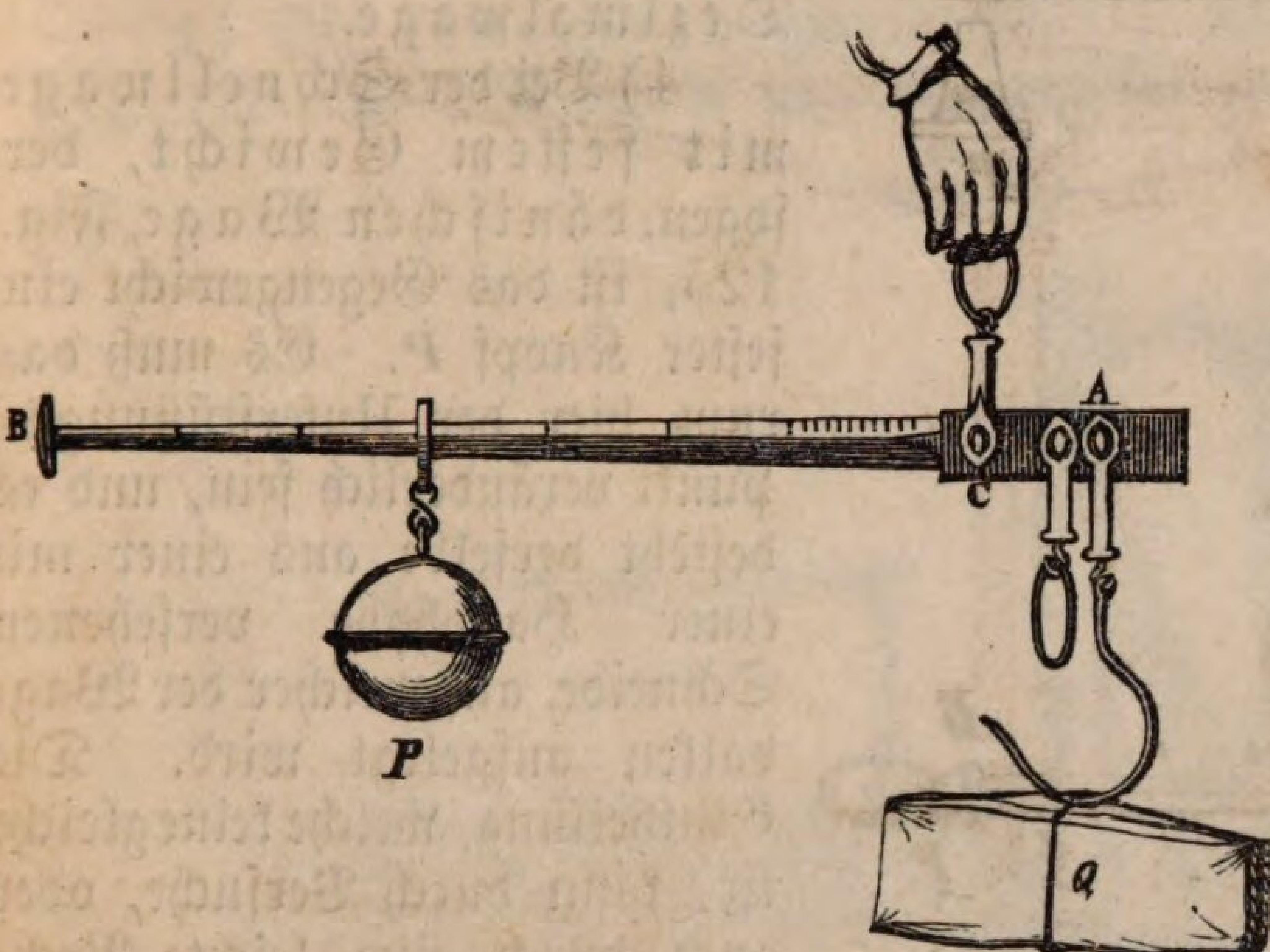
Weniger genau wäre, wenn man das arithmetische Mittel, also $x = \frac{20 + 21}{2}$ nähme.

Man kann auch die Last in der einen Wagschale in's Gleichgewicht bringen und sie dann entfernen und statt derselben bekannte Gewichte in die Wagschale legen. — Prüfung einer Wage durch Verwechselung der Last und des Gegengewichts.

2) Die ungleicharmigen oder Schnellwagen.

1) Die gewöhnliche Schnellwage oder römische Wage, Fig. 122, ist ein ungleicharmiger Hebel und so beschaffen, daß die leere Wage einspielt. Auf dem langen dünnern Arme ist eine Eintheilung. Ein bestimmtes Laufgewicht, der sogen. Läufer, wird in den verschiedenen Punkten dieser Eintheilung aufgehängt und gibt dann die Größe der Last an. Hat der Aufhängepunkt des Läufers vom Drehpunkte *C* die gleiche Entfernung, wie der Aufhängepunkt *A* der Last, so wäre diese gerade so groß, als der Läufer. Bei doppelter, dreifacher 2c. Entfernung des Läufers aber erfordert es die doppelte, dreifache 2c. Last, um mit diesem in's Gleichgewicht zu kommen.

Fig. 122.

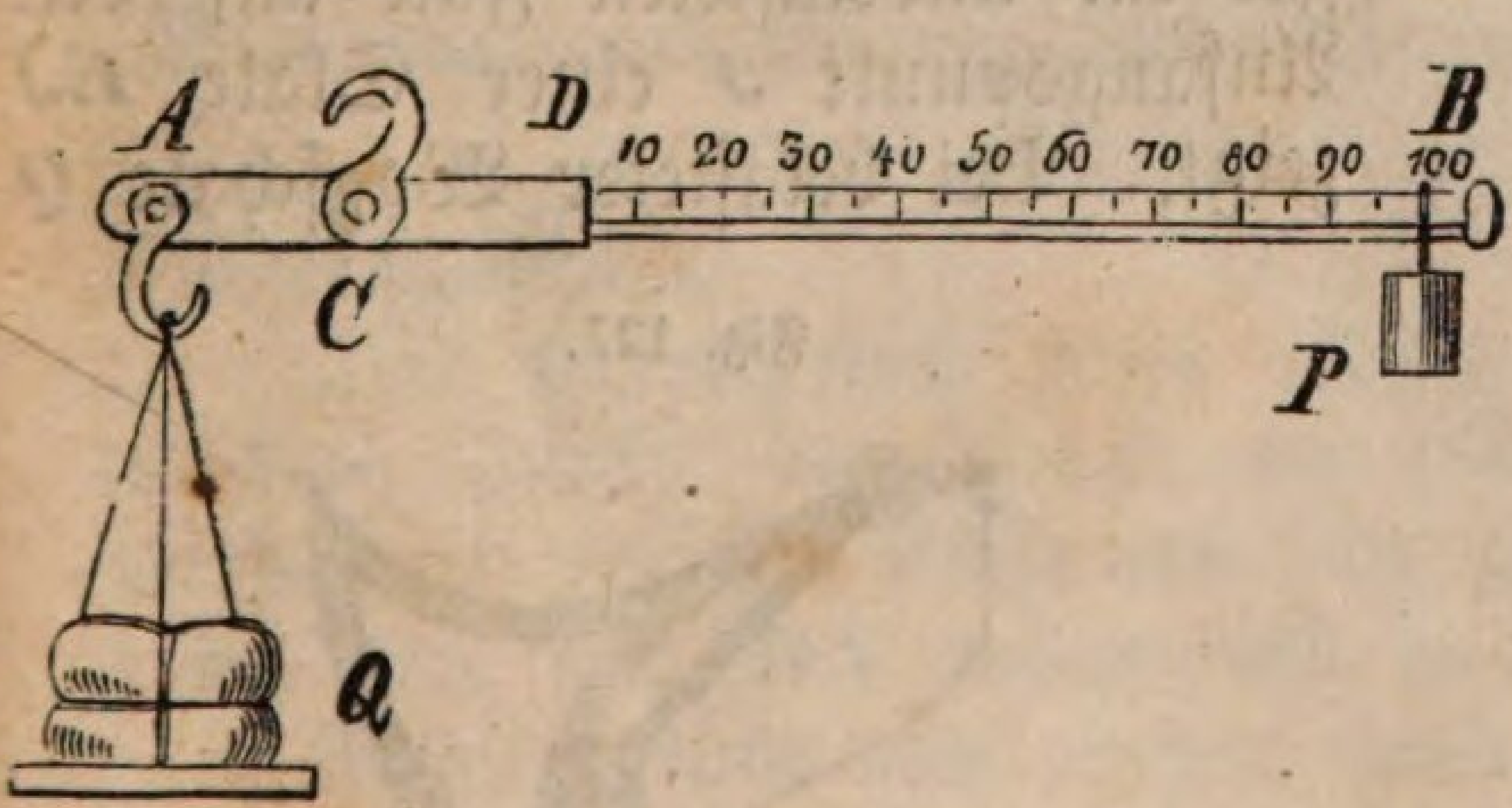


Diese Wage hat oft zweierlei Aufhängepunkte für die Last und darum auch eine doppelte Eintheilung.

Mit angebrachten Gewichten, dem Tarirgewicht, bringt man bei dieser Wage, sowie auch bei den folgenden, stets das Einspielen der leeren Wage hervor.

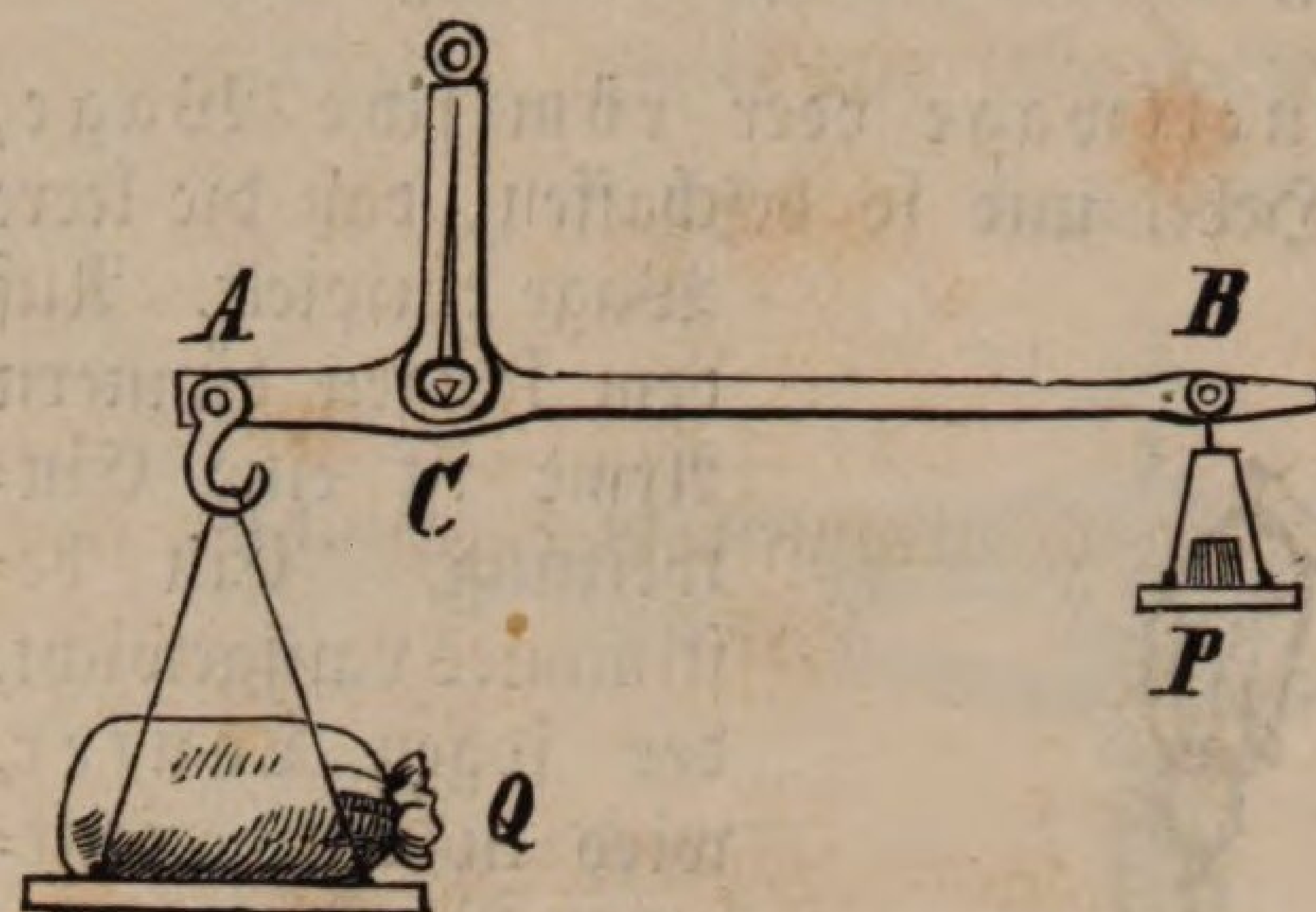
2) Oft ist die Wage so eingerichtet, daß der Läufer in *D*, Fig. 123, sich befinden muß, um die unbelastete Wage in's Gleichgewicht zu bringen. — In diesem Fall wird nur der Arm *DB* eingetheilt. Gibt z. B. der Läufer in *B* eine Last von 100 Pfd. an, so theilt man *DB* in 100 gleiche Theile.

Fig. 123.



3) Die Schnellwage mit verjüngtem Gewicht, Fig. 124 ist so beschaffen, daß an beiden Armen Wagschalen
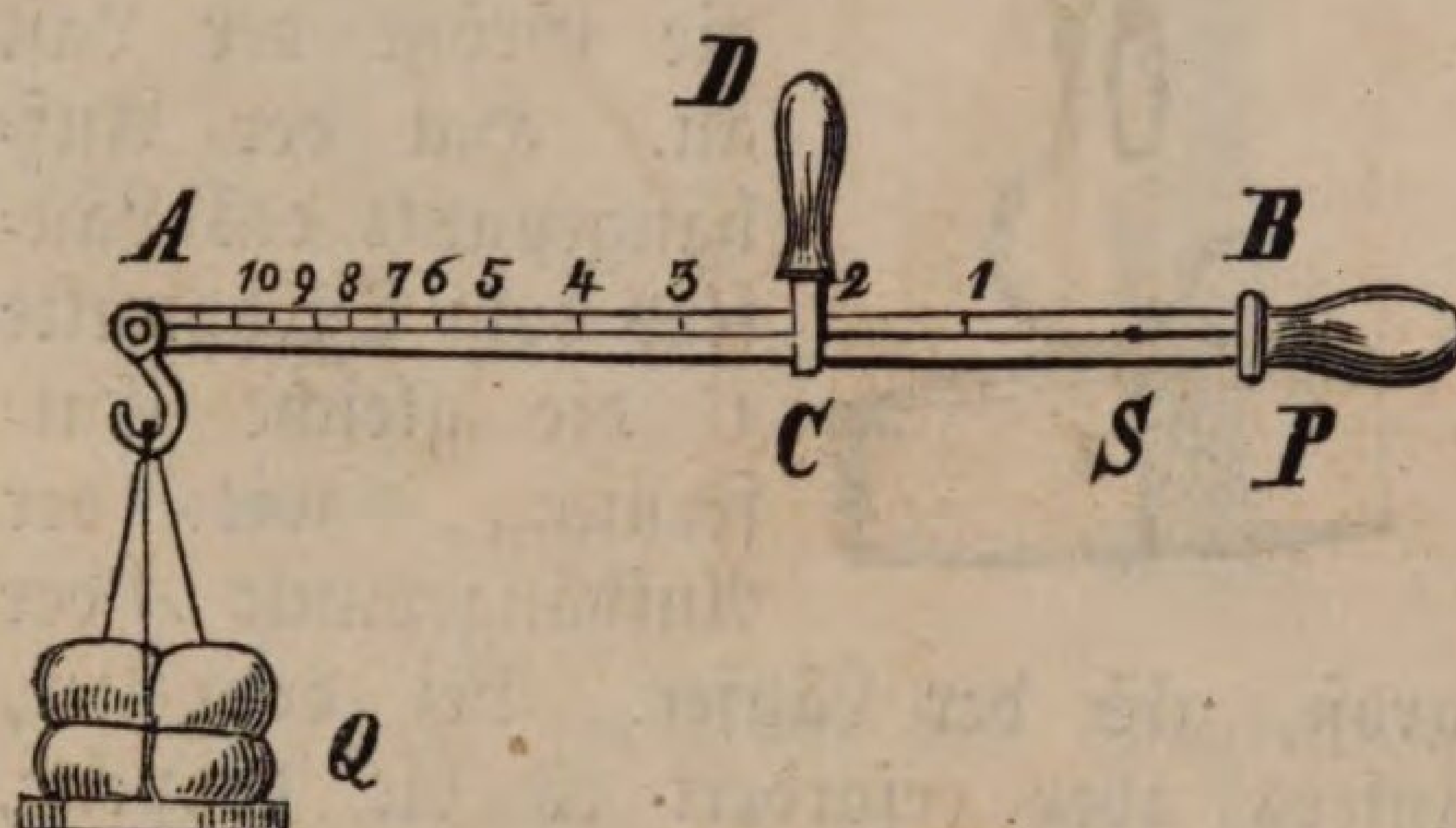
Fig. 124.



sich befinden. Der eine Arm ist aber, und zwar gewöhnlich **zehnmal**, länger. Es ist dann die Last Q immer das **Zehnfache** des Gegengewichts P. — Eine solche Wage heißt **Dezimalwage**.

4) Bei der **Schnellwage mit festem Gewicht**, der sogen. **dänischen Wage**, Fig. 125, ist das Gegengewicht ein fester Knopf P. Es muß darum hier der Unterstützungspunkt veränderlich sein, und es besteht derselbe aus einer mit einer Handhabe versehenen Schneide, auf welcher der Wagbalken aufgelegt wird. Die Eintheilung, welche keine gleiche ist, kann durch Versuche, oder auch durch eine leichte Rechnung bestimmt werden, wobei man setzt, wenn Q die Last, G das eigene Gewicht und S der Schwerpunkt ist,

Fig. 125.



$$Q \cdot AC = G \cdot CS, \text{ d. i. } Q \cdot x = G\,(l - x) \text{ und } x = \frac{G \cdot l}{G+Q}.$$

3) Die Zeigerwagen.

Die **Zeigerwagen** sind gewöhnliche Winkelhebel, und so eingerichtet, daß, wie in Fig. 126, der eine Arm oder der Zeiger im unbelasteten Fall auf den Anfangspunkt J einer Skale EJ zeigt. Bei belasteter Wagschale Q

Fig. 126.

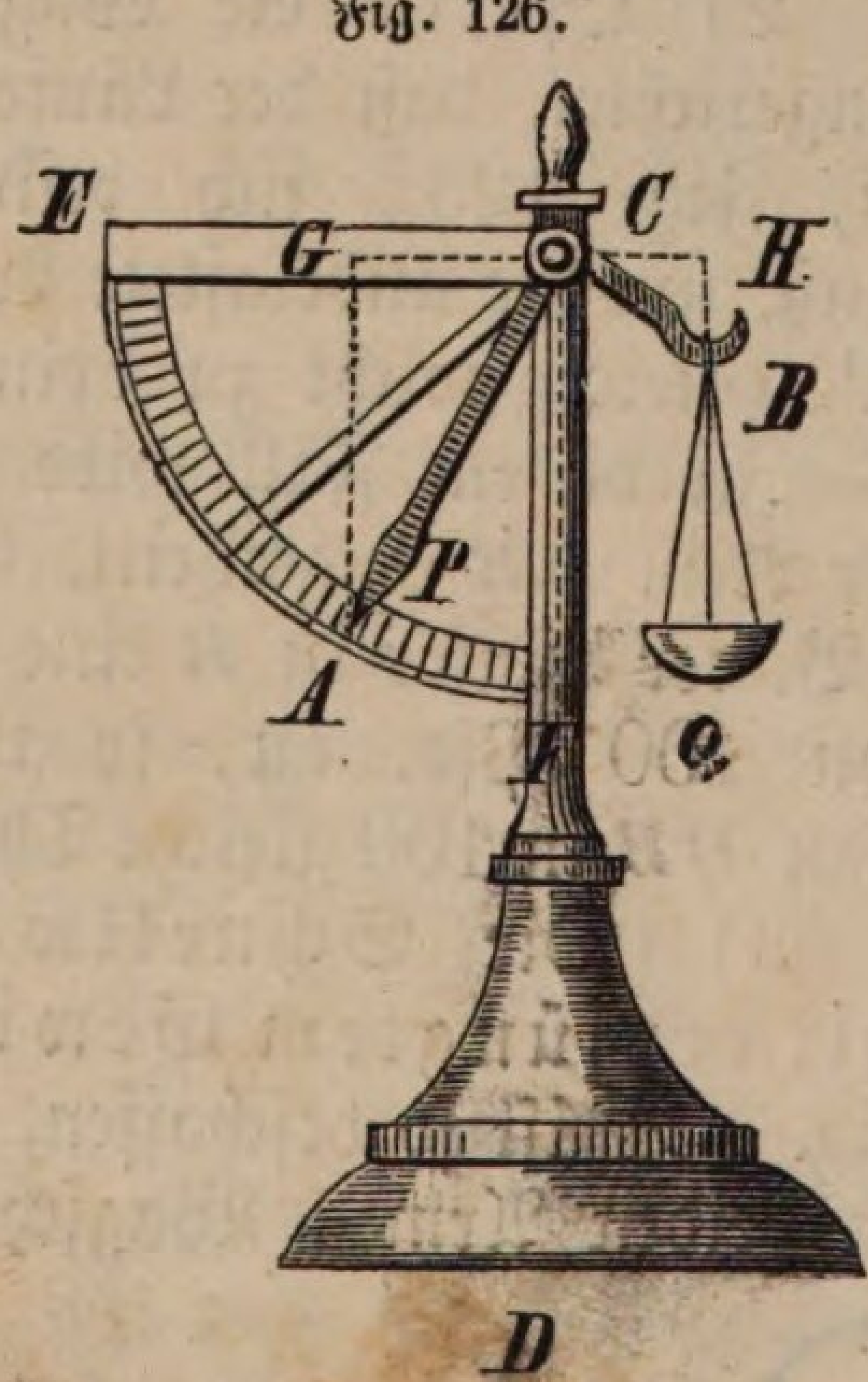
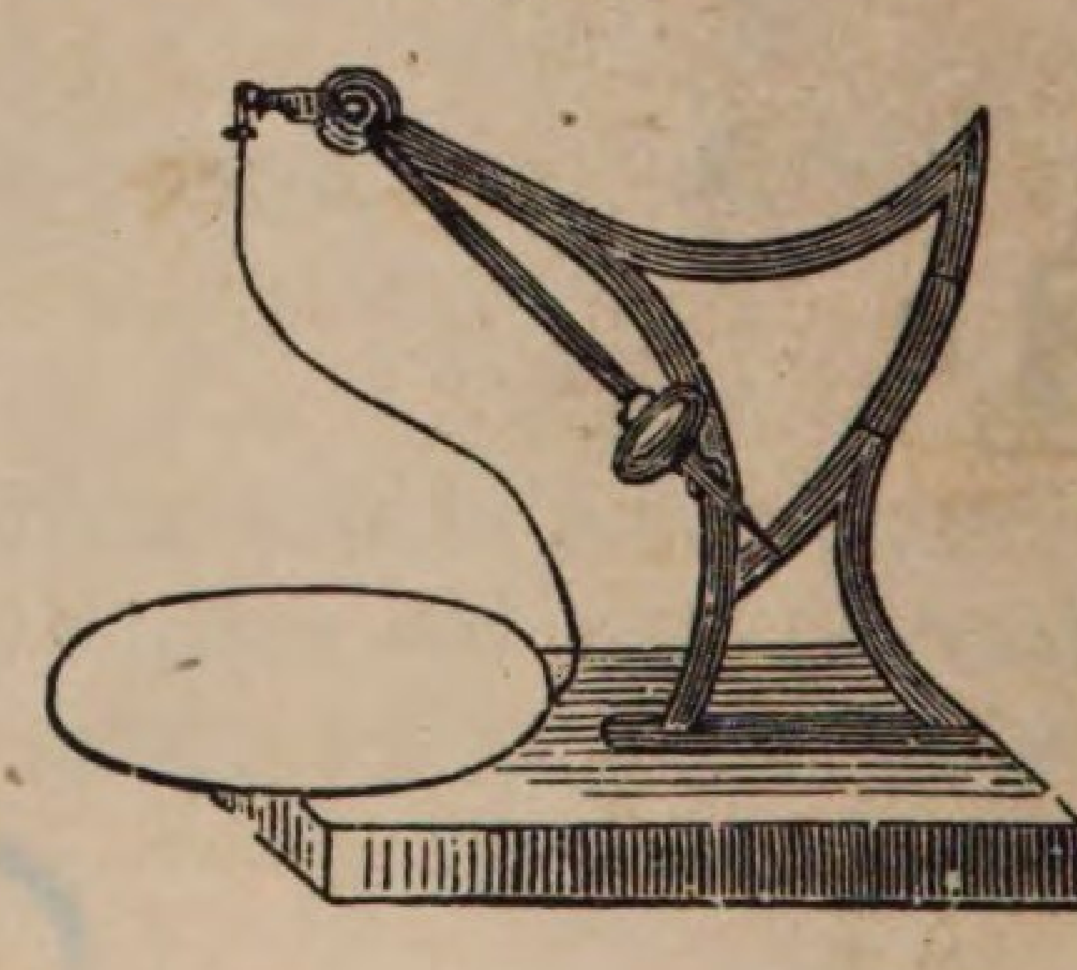


Fig. 127.



steigt dann der Zeiger auf der Skale in die Höhe und zeigt das Gewicht an.

Dahin gehört die gewöhnliche Briefwage Fig. 127.

4) Zusammengesetzte oder Brückenwagen.

Diese sind Verbindungen zweier oder mehrerer Hebel.

1) Die gemeine tragbare oder Quintenz'sche Brückenwage Fig. 128 und 129 besteht aus einem einarmigen in *F* gestützten sogen.

Fig. 128.

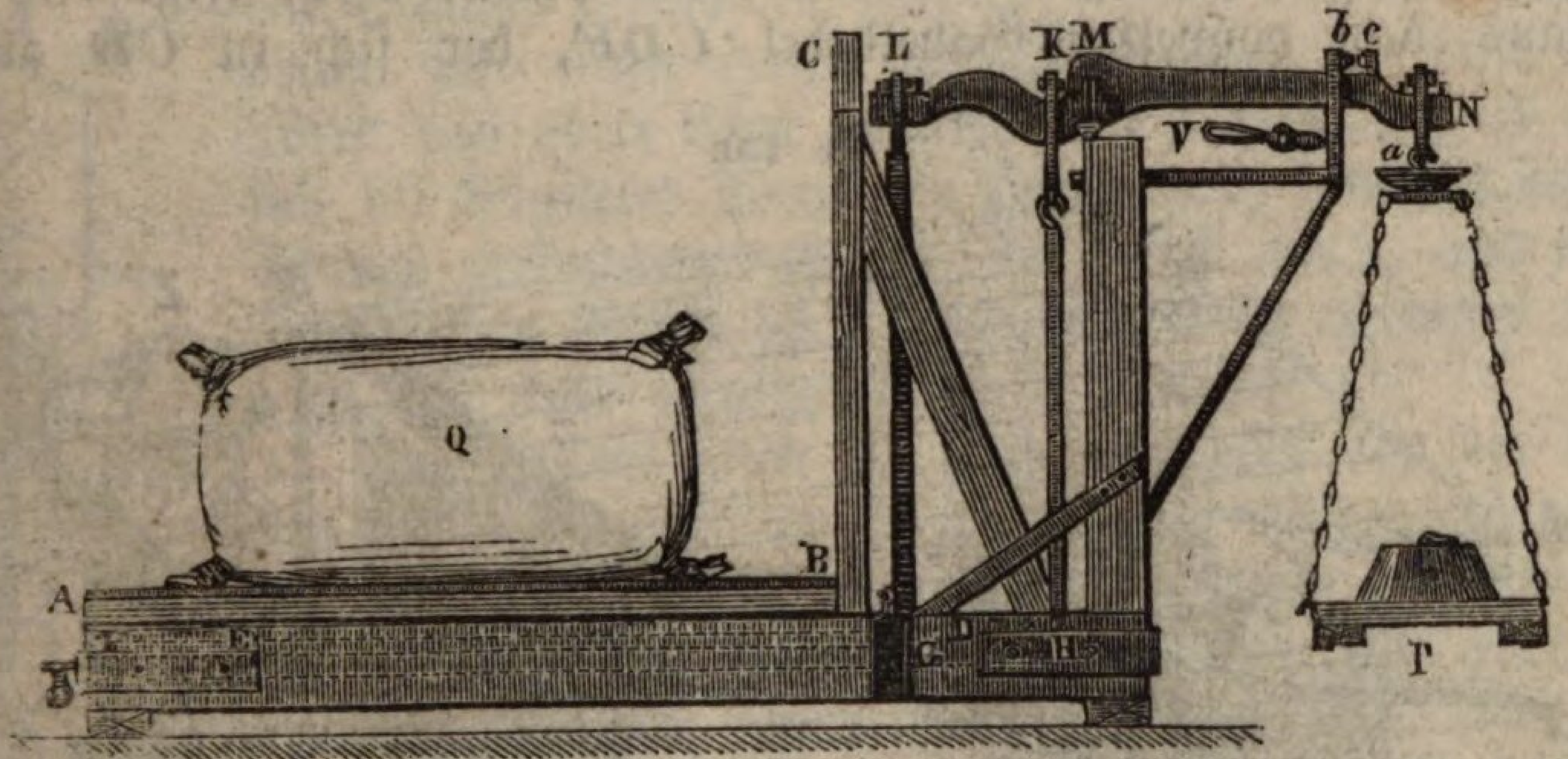
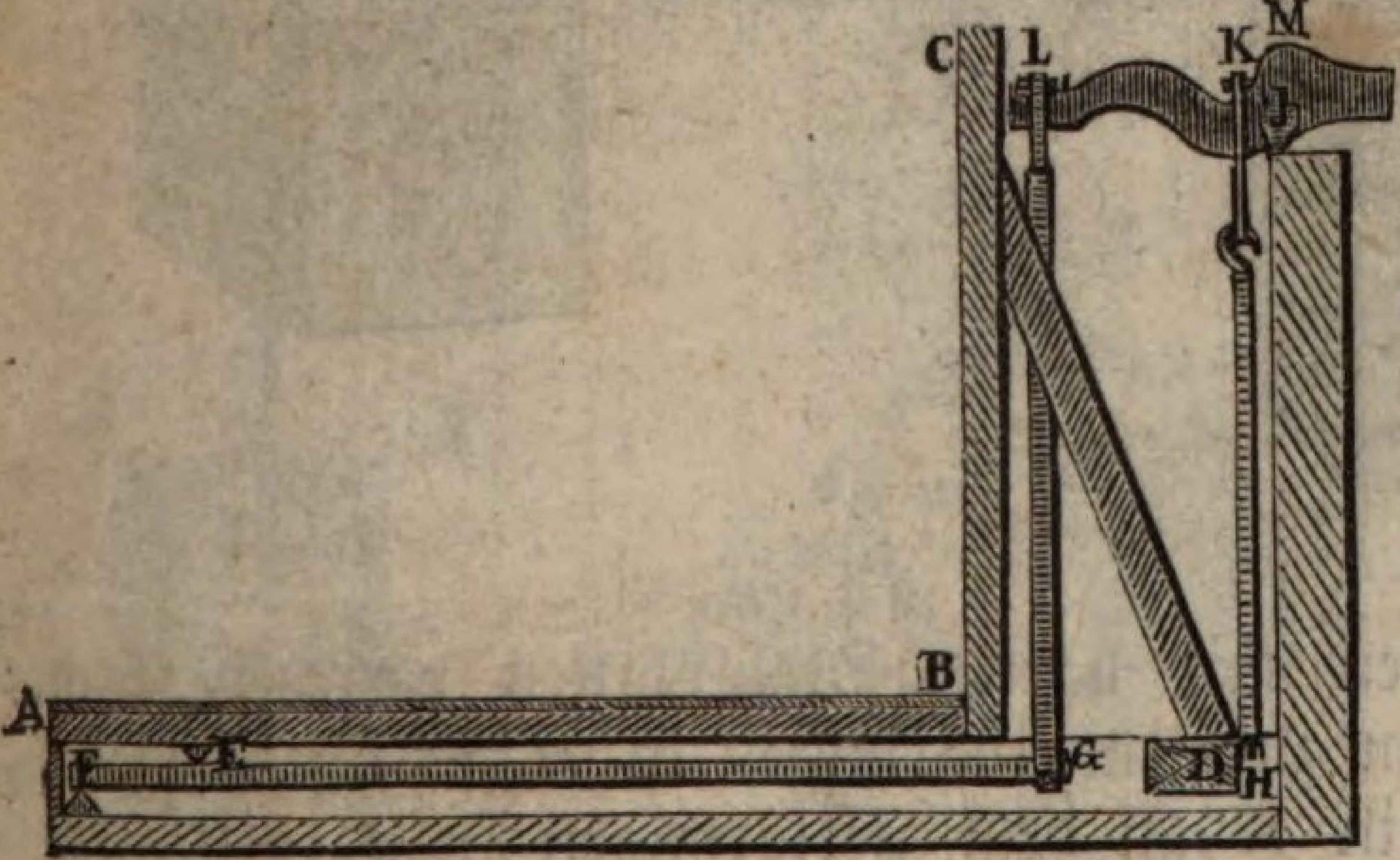


Fig. 129.



Gabelhebel *FG* und dem zweiarmigen in *M* gestützten Hebel *LN*. Man verbringt die Last auf eine sogen. Brücke *AB*, welche sich vermittelst einer Schneide einerseits in *E* auf den ersten Hebel stützt, während das andere Ende der Brücke vermittelst der Strebe *CD* und der Stange *KH* in *K* am Hebel *LN* aufgehängt ist. Am nämlichen Hebel ist in *L* auch der Gabelhebel *FG* aufgehängt.

Das Erforderniß einer solchen Wage ist, daß es einerlei sei, in welchem Punkte der Brücke die Last *Q* aufgelegt wird, und daß das Verhältniß zwischen Kraft und Last nur durch das Verhältniß der Hebelarme *MK* und *MN* ausgedrückt wird.

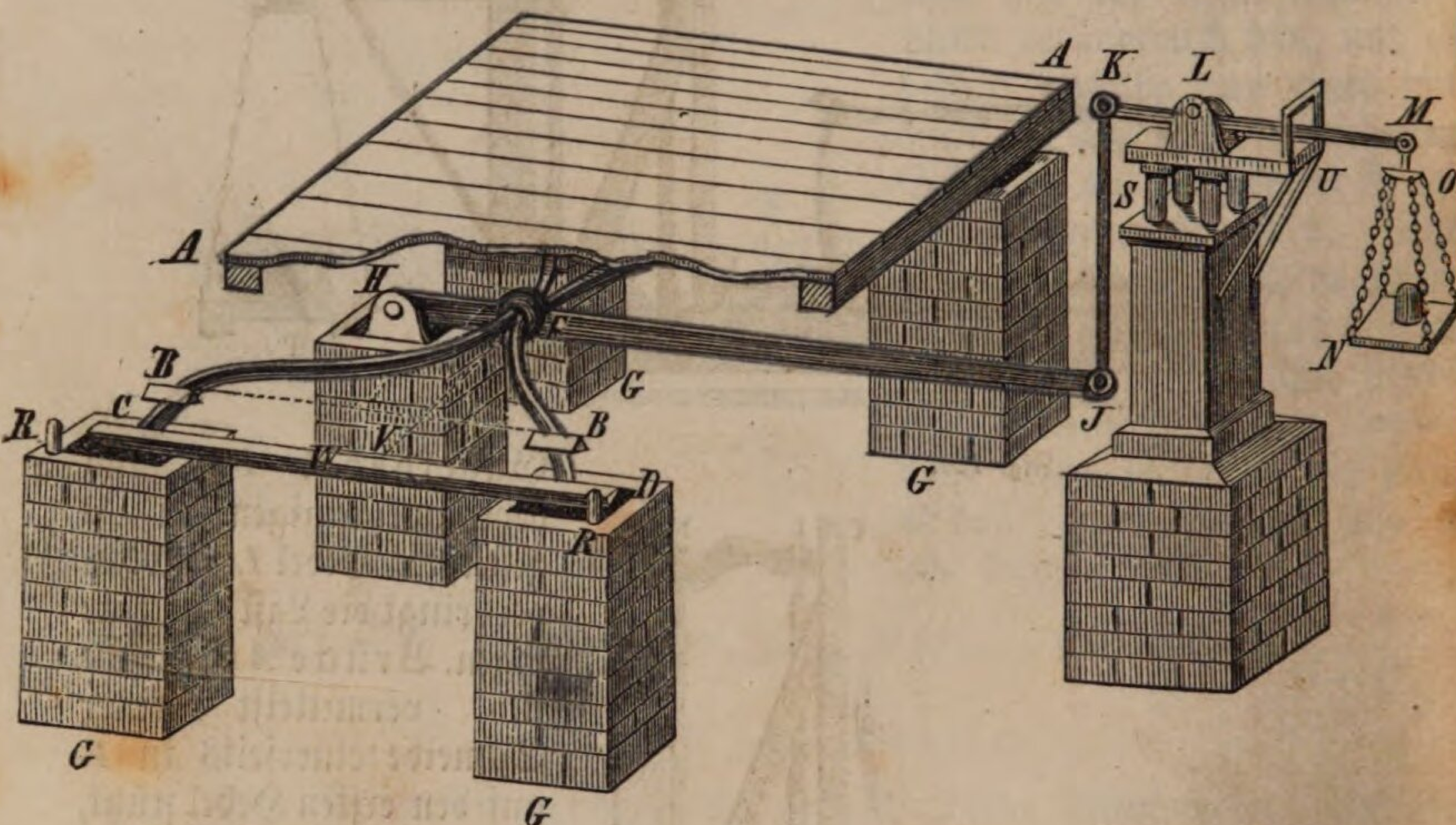
Man erreicht dies einfach dadurch, daß man den Armen des ersten Hebels *FE* und *FG* ganz das nämliche Verhältniß zu einander giebt, wie den Armen *MK* und *ML*; d. h. ist z. B. *FG* fünf Mal ꝛc. größer als *FE*, so muß auch *ML* fünf Mal ꝛc. größer als *MK* sein. Wenn dieses Verhältniß eingehalten wird, so gleichen sich nämlich alle Be-

wegungen der Punkte *E*, *G*, *L* und *K* so aus, daß die Brücke *AB* stets sich parallel hebt oder senkt. Auch verhält sich dann die Sache gerade so, als hänge die Last in *K* und ihr gegenüber an einem Arm *MN*, der das Zehnfache von *MK* ist, das Gegengewicht *P*. — Die Wage ist dann eine sogen. Dezimalwage, d. h. sie gibt zehnfache Lasten an.

Die Vorrichtung *V* dient zum Abstellen der Wage, die Ansätze *b* und *c* zeigen die Gleichgewichtslage an; in *a* befinden sich die Tarirgewichte.

2) Die große Brücken- oder Straßenwage, Fig. 130, besteht aus dem doppelten Gabelhebel *CDF*, der sich in *CD* auf die

Fig. 130.



Pfeiler *G* stützt, welche oben mit harten Stahlplatten versehen sind. Das Ende *F* wirkt an einem zweiten einarmigen in *H* gestützten Hebel *HI*, dessen anderes Ende *J* in *K* an dem zweiarmigen in *L* gestützten Hebel *KM* aufgehängt ist.

Die Brücke *AA*, welche die Last aufnimmt, ruht in den Punkten *BB* auf dem doppelten Gabelhebel.

Da die vier von der Last durch die Brücke ausgeübten Drücke, welche zusammen der Last *Q* gleich sind, alle in gleicher Entfernung *VW* von der Stützlinie *CD* des ersten Hebels wirken, so verhält sich die Sache gerade so, als wirke die ganze Last an einem dieser Punkte *B*.

Man hat also nach der für jede Hebelverbindung giltigen Regel:

$$P \,.\, LM \,.\, HJ \,.\, FW = Q \,.\, LK \,.\, HF \,.\, VW,$$

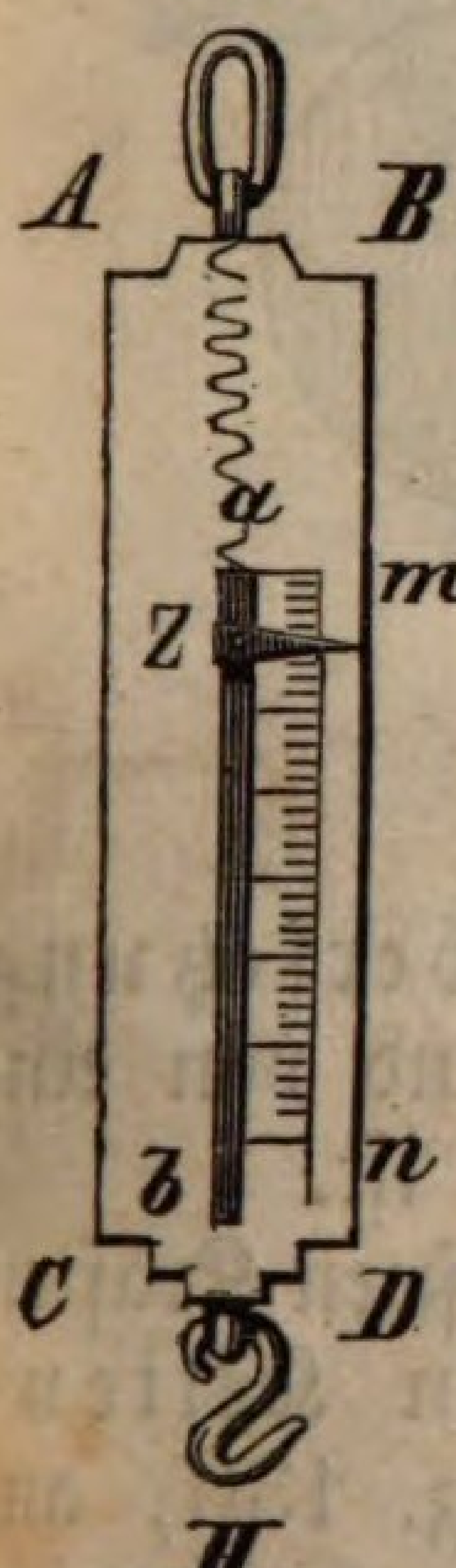
$$\text{und also } Q = \frac{LM \,.\, HJ \,.\, FW}{LK \,.\, HF \,.\, VW} \,.\, P.$$

Gewöhnlich ist das Produkt aus den größern Hebelarmen 100mal größer, als das Produkt der kleinern Arme. Alsdann gibt 1 Pfd. Gegengewicht eine Last von 100 Pfd. an. — Die Wage ist dann eine sogen. Centesimalwage.

5) Die Federwagen.

1) Die Federwagen sind entweder so eingerichtet, daß wie in Fig. 131 im obern Theil einer Röhre eine gewundene Stahlfeder *a* festgemacht ist, mit deren unterm Ende dann eine Stange verbunden wurde, welche die Röhre durchdringt und einen Haken zum Aufnehmen der Last trägt. Wird das obere Ende gehalten oder aufgehängt, so dehnt sich bei belasteter Wage die Feder aus, und ein mit der Stange verbundener Zeiger, der durch einen, aus einem Schlitze der Röhre hervorragenden Stift getragen wird, zeigt auf einer Eintheilung die Gewichte an.

Fig. 131.



2) Oefters sieht man Zeigerwagen von der durch Fig. 132 dargestellten Construktion. Dort hängt die Last an der hohlen Büchse und diese preßt bei belasteter Wage eine um eine Stange gewundene, sich gegen die Büchse stemmende Feder zusammen.

Oder auch es bestehen die Federwagen oft nur aus einer einfachen gebogenen Feder *ACE*, Fig. 133. Ein um *E* drehbarer Zeiger, der durch eine im andern Endpunkte *A* der Feder angebrachte Oeffnung geht, gibt die Gewichte auf einer Skale *mn* an.

Fig. 132.

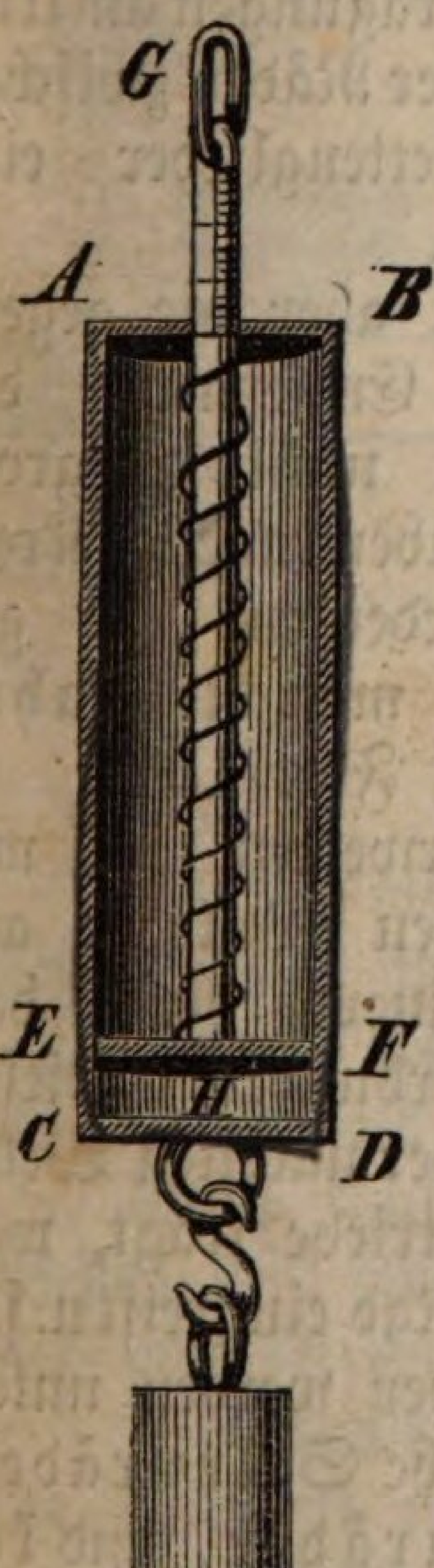
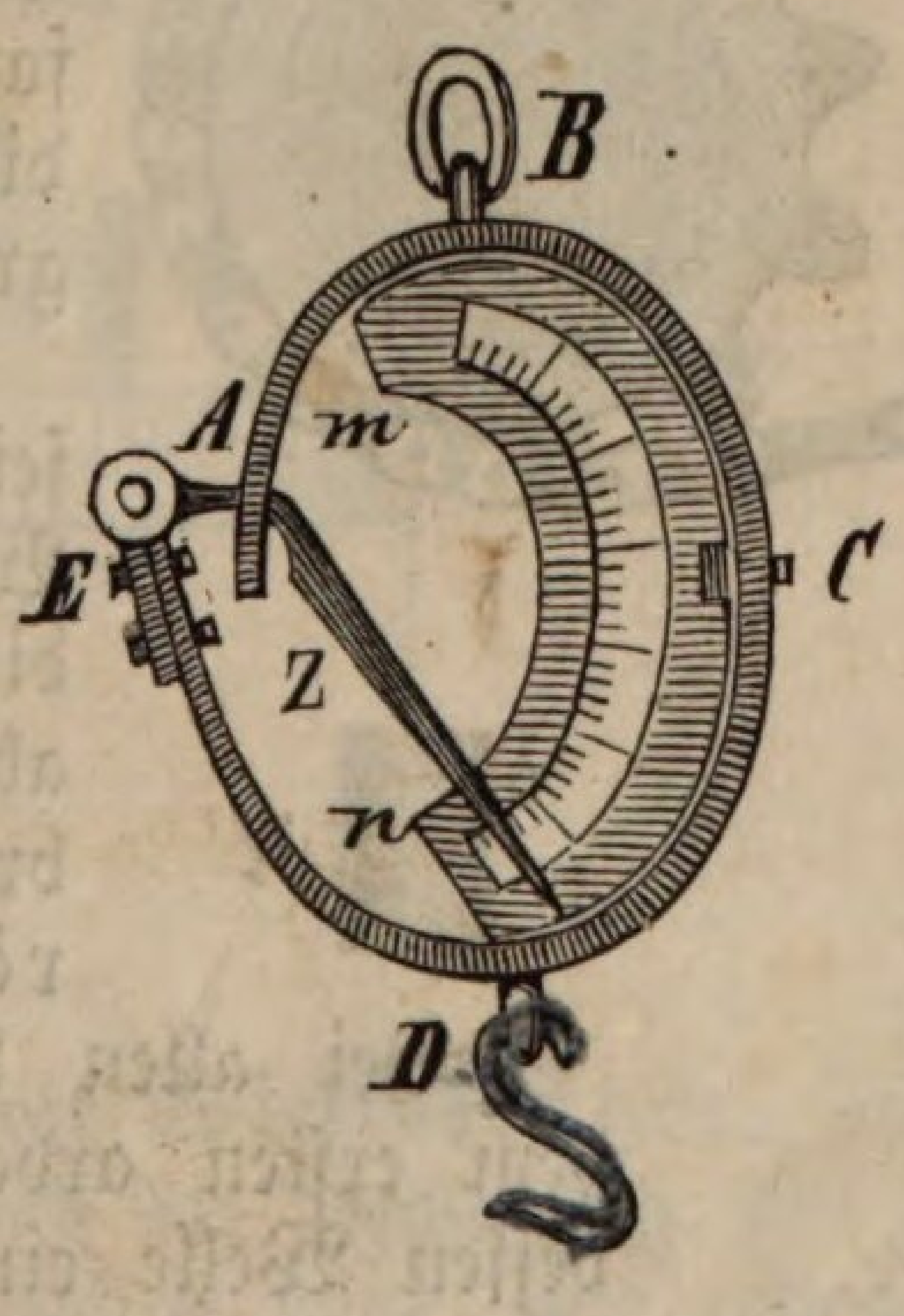


Fig. 133.



Zum bessern Verständniß sei noch bemerkt, daß elastische Federn, so lange ihre Elasticitätsgrenze nicht überschritten wird, bei gleicher Belastung immer um das Nämliche ausgedehnt oder zusammengedrückt werden, bei abgenommener Last aber wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgehen.

B. Von den Verbindungen der Wellräder.

Von den Räderwerken.

1) Mehrfach mit einander verbundene Wellräder bilden sogenannte Räderwerke. Es

sind entweder sogen. Riemenräder, Kettenräder oder Zahnräder.

Bei den Riemenrädern wird die Bewegung des ersten Wellrades vermittelst Riemen, welche den Umfang der Räder umspannen, auf ein anderes Wellrad übertragen, und zwar so, daß sich beide Räder wie in Fig. 134 in gleicher, oder aber, wie in Fig. 135, in entgegen-

Fig. 134.

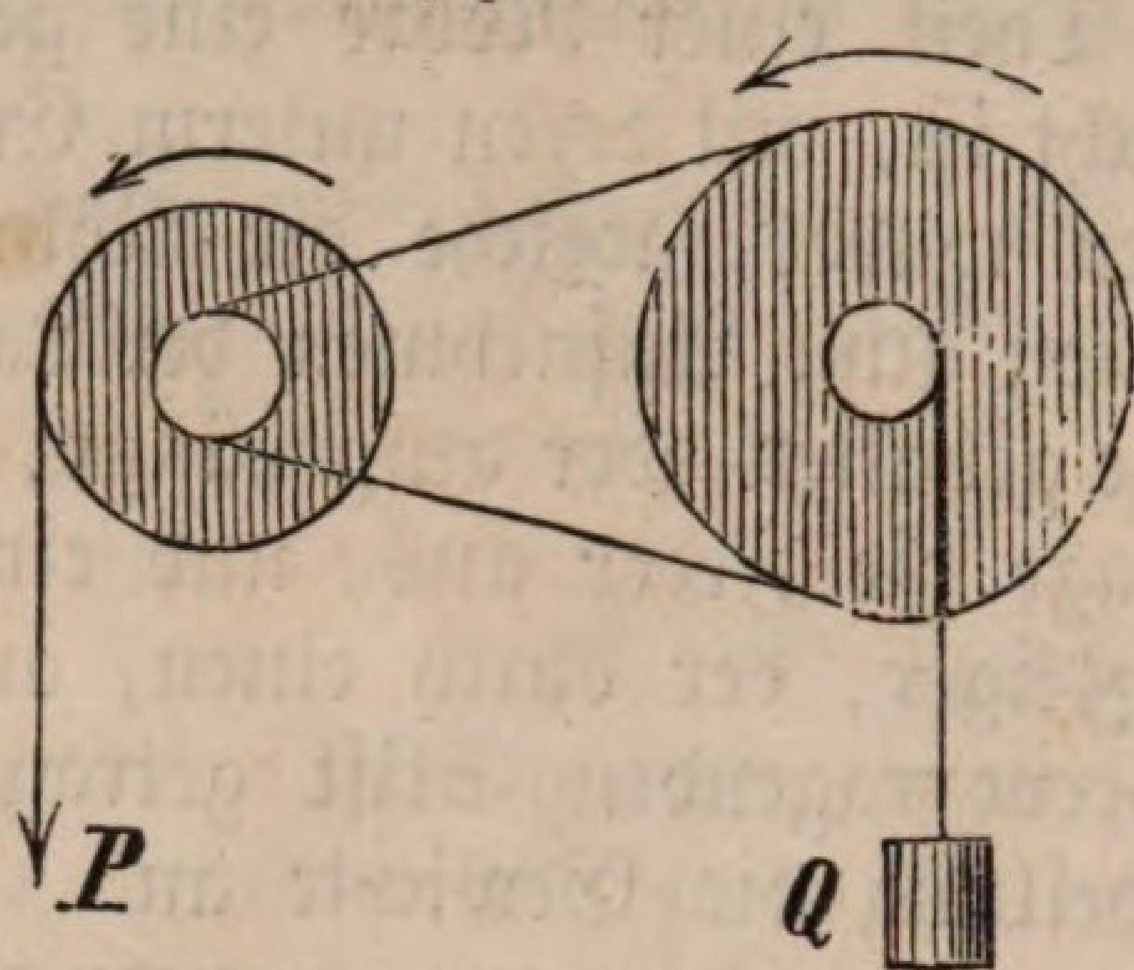
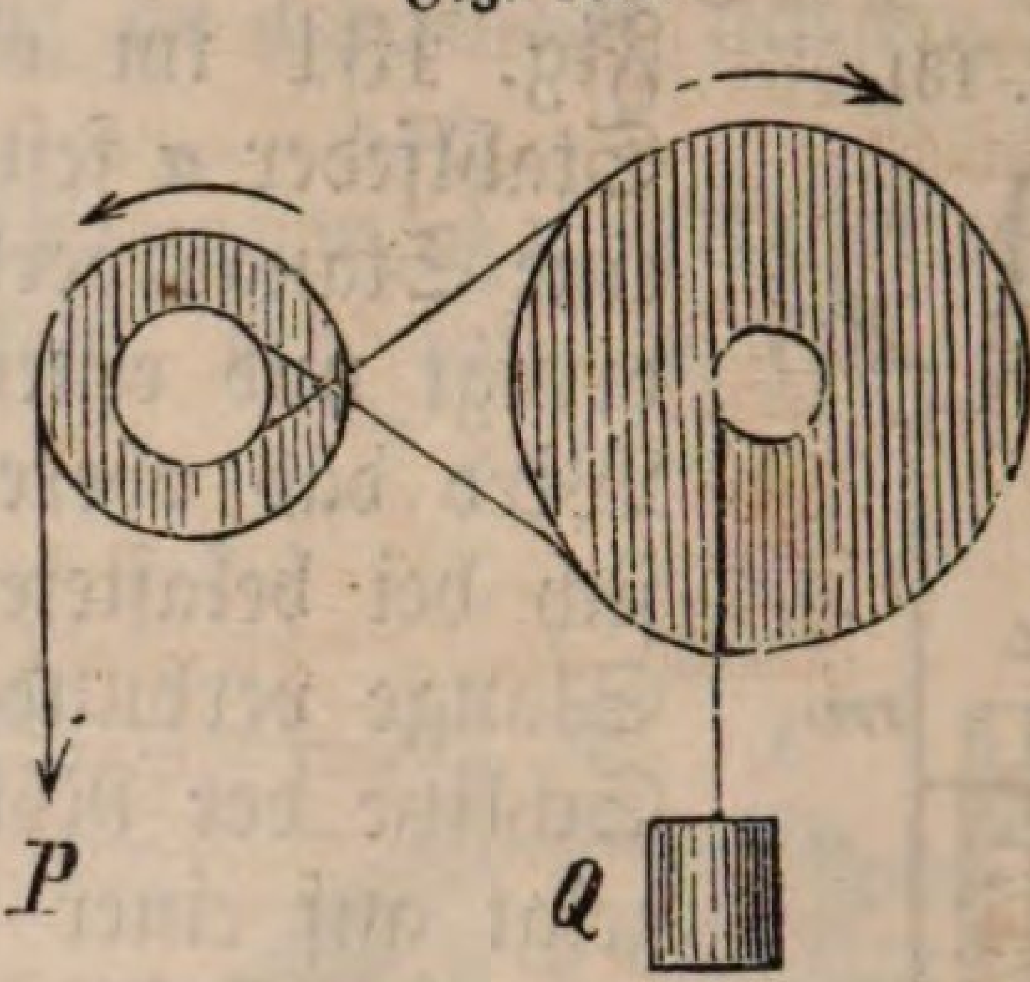
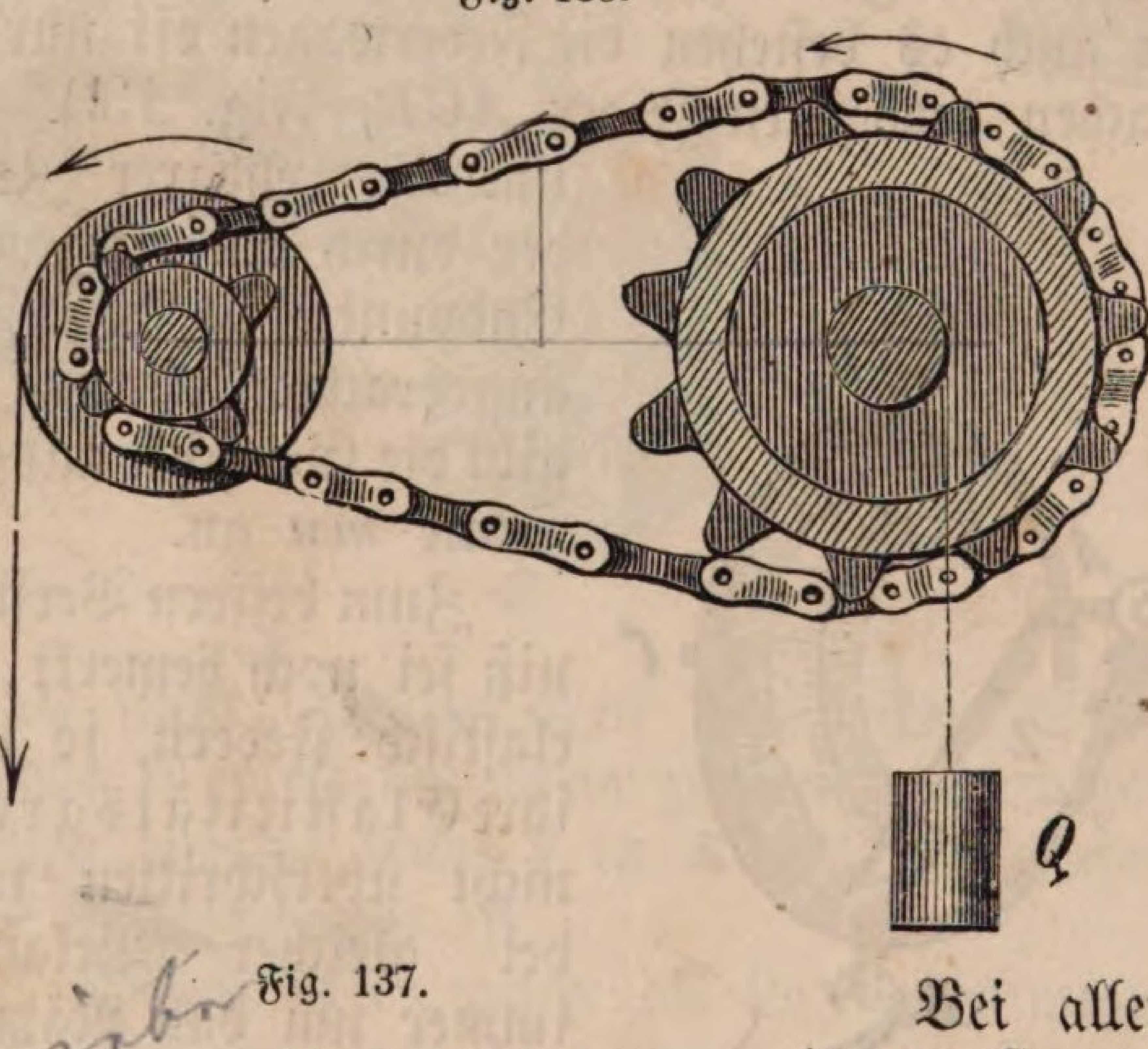


Fig. 135.



gesetzter Richtung drehen. — Eine derartige Bewegungsübersetzung findet statt, wenn die Wellen einen ziemlich großen Abstand von einander haben und die zu übertragende Kraft nicht bedeutend ist.

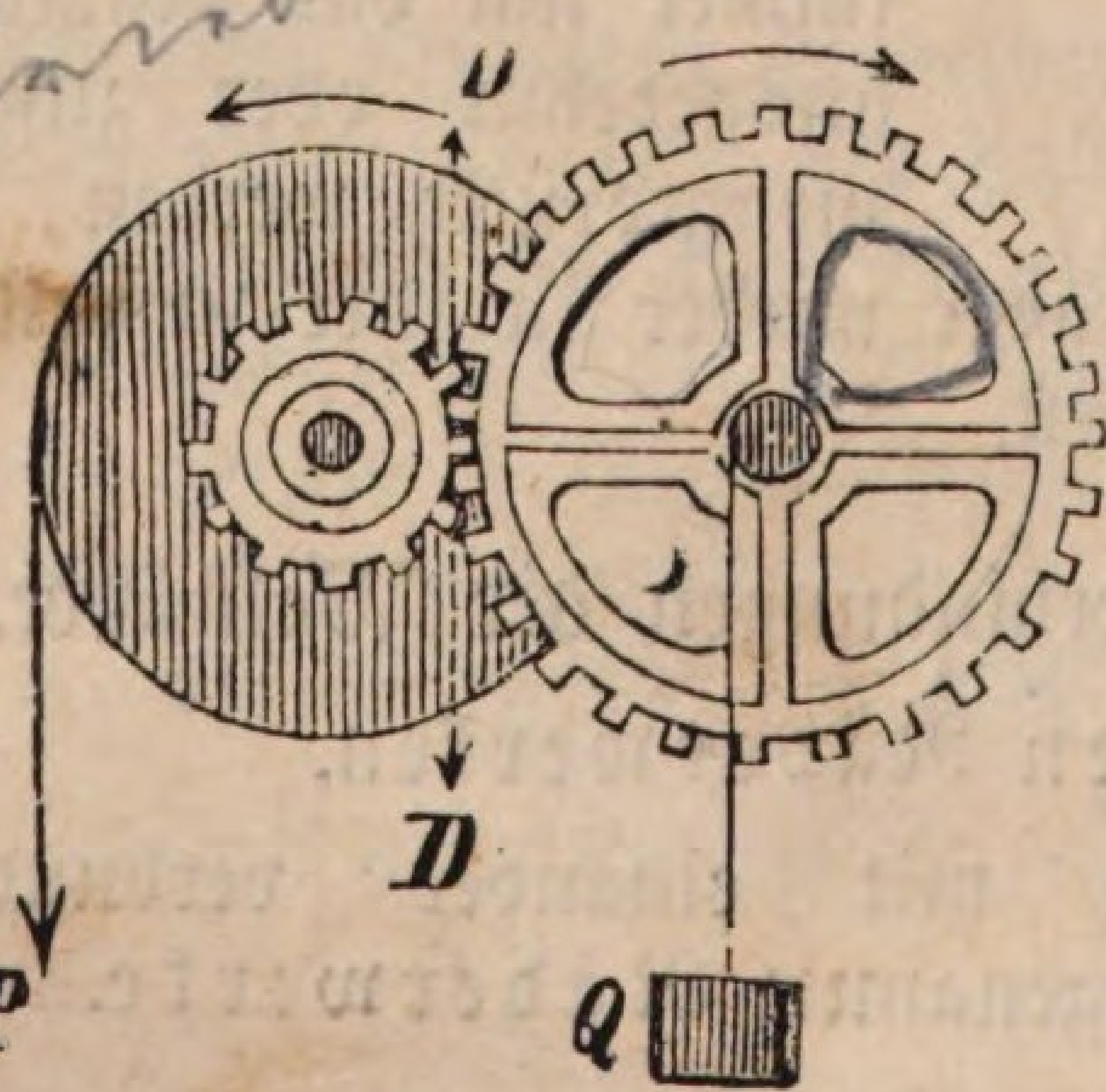
Fig. 136.



Bei größern Kräften wendet man Kettenräder, Fig. 136, an, bei welchen zahnförmige Hervorragungen am Umfange der Räder zwischen die Kettenglieder eingreifen.

Ist aber die gegenseitige Entfernung der Wellen nicht zu groß, die zu übertragende Kraft aber bedeutend, so gebraucht man die Zahnräder, Fig. 137.

Fig. 137.



Bei allen Räderwerken ist mit dem ersten arbeitenden Wellrade auf dessen Welle ein kleineres Rad, das sogen. Getriebe, verbunden. Dieses wirkt auf das Rad der nächsten Welle, welche wieder ein Getriebe trägt, welches in das folgende Rad eingreift u. s. f.

2) Die Zahnräder werden unterschieden in gewöhnliche Stirnräder, Kron- oder Kammräder, und konische oder Winkelräder.

Fig. 138.

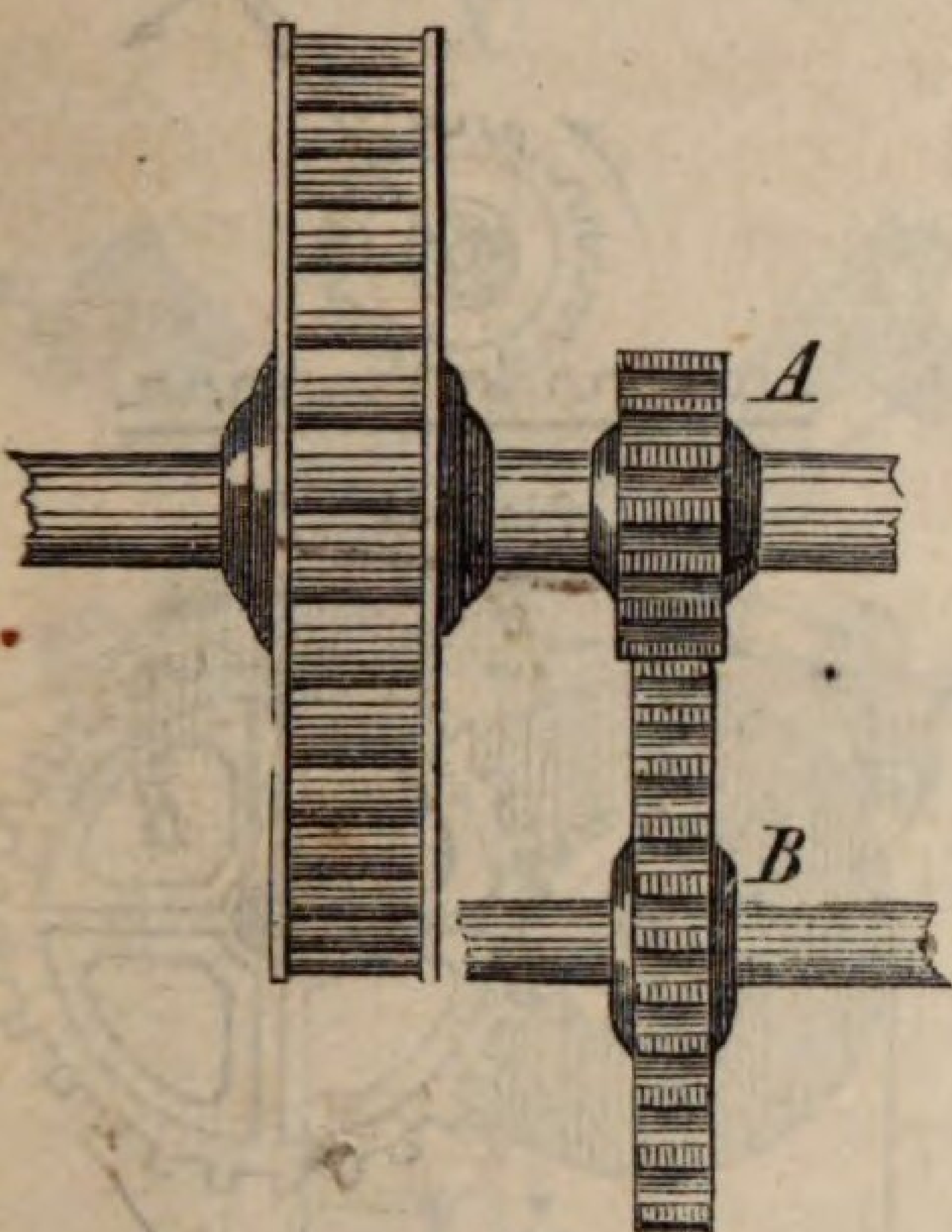
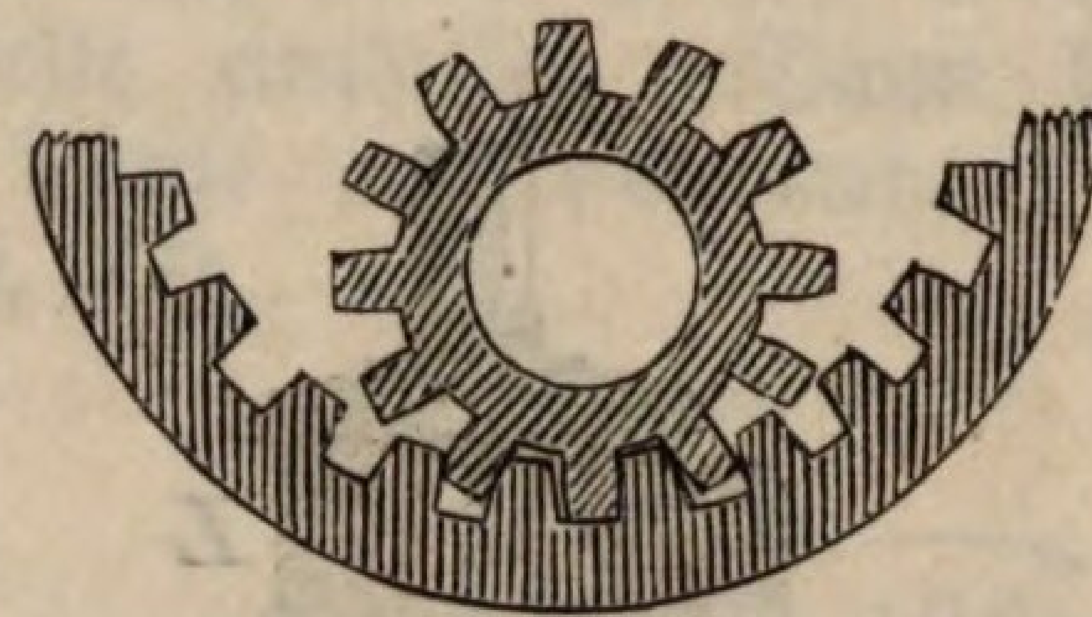


Fig. 139.



Vermittelst der *Stirnräder*, Fig. 138 und 139, wird die Bewegung einer Welle auf eine andere übertragen, die parallel mit der ersten geht.

Mit den *Kammrädern*, Fig. 140, trägt man die Bewegung einer Axe auf eine andere, zur ersten senkrecht stehenden über.

Fig. 140.

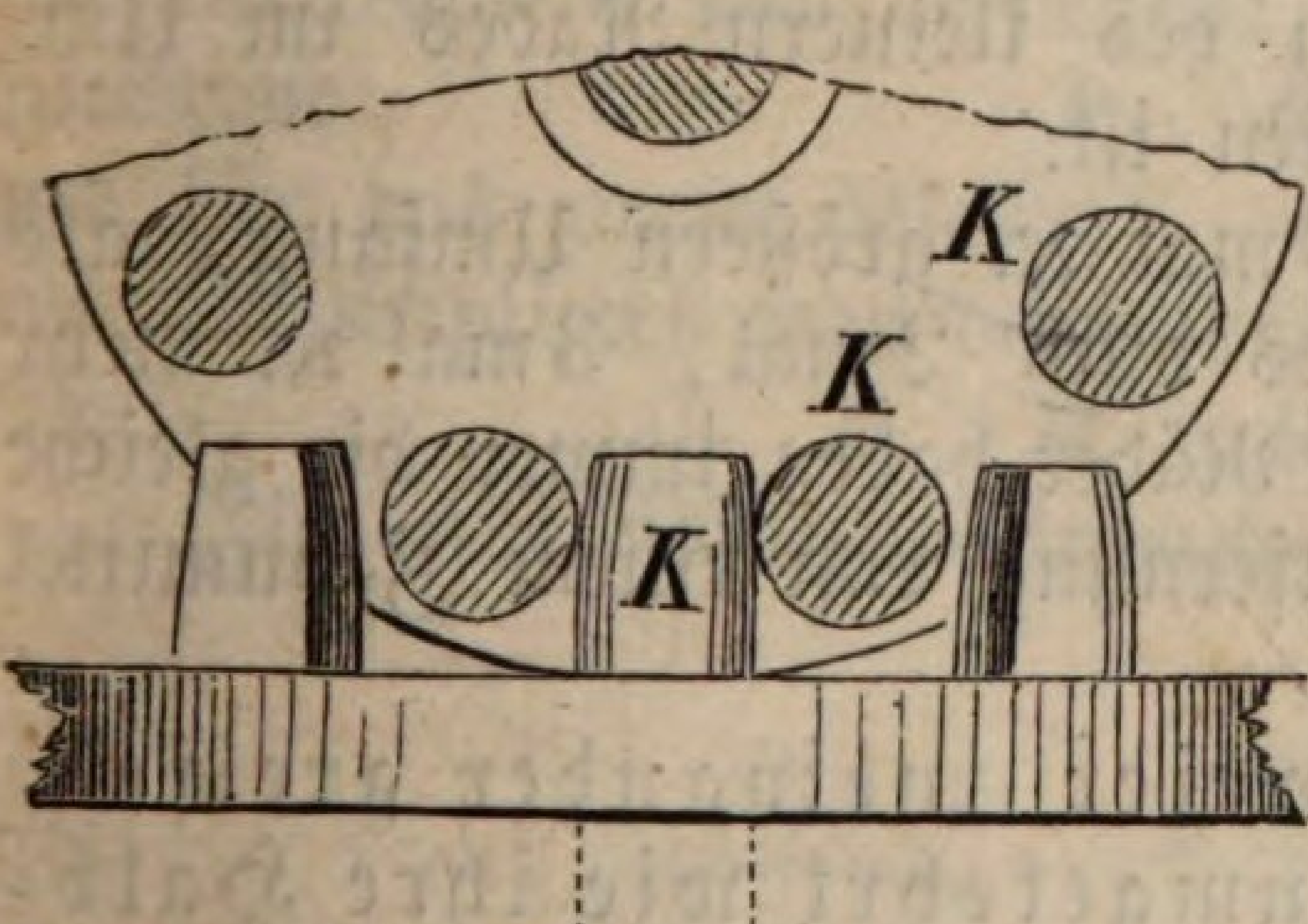
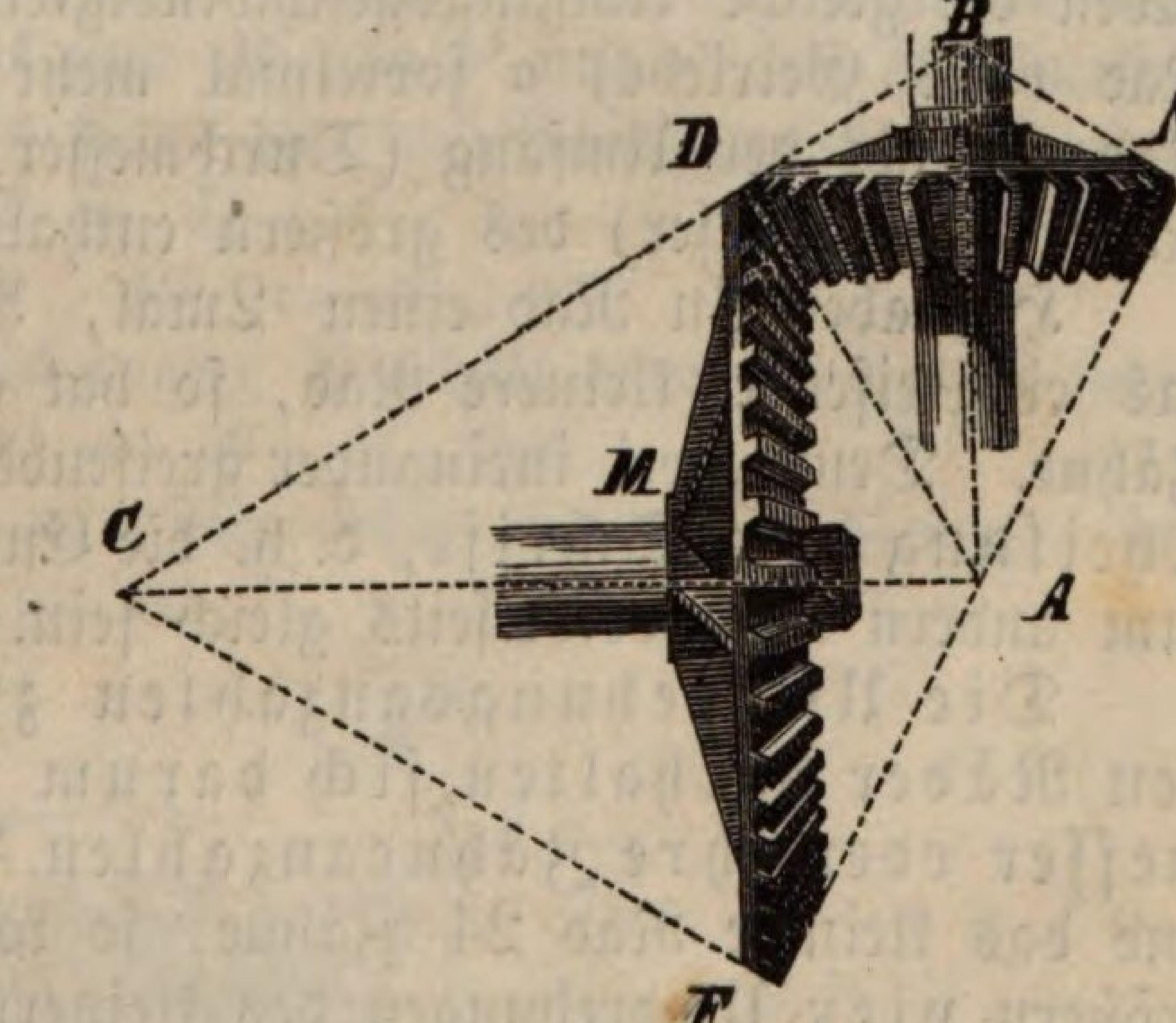


Fig. 141.



Ebenso dienen die *Winkelräder*, Fig. 141. Man kann mittelst dieser Räder aber auch die Bewegung auf eine andere Axe übertragen, welche keine rechtwinkelige Lage zur ersten oder Triebwelle hat; nur müssen sich die beiden Axenrichtungen durchschneiden.

Auch kann man durch ein sogen. *Zwischengelege* (eine dritte Welle) mit konischen Rädern die Bewegung einer Axe auf jede andere Axe von beliebiger Lage übertragen.

Oft greift ein Kammrad in eine sogen. *Laterne*, Fig. 142, oder ein Stirnrad treibt eine *Zahnstange*, Fig. 143.

3) *Zwei ineinandergreifende* Räder *a* und *B*, Fig. 144,

Fig. 142.

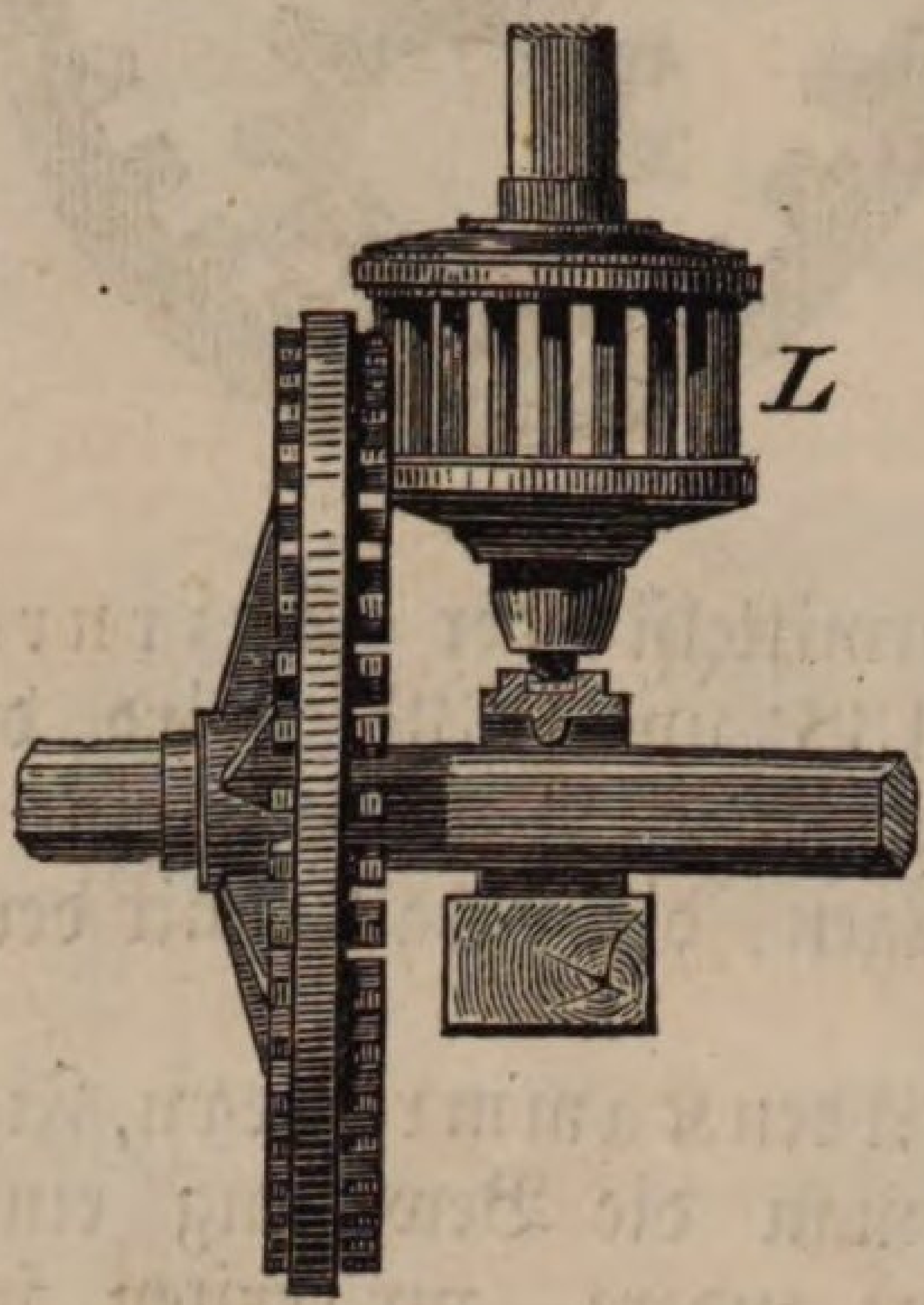


Fig. 143.

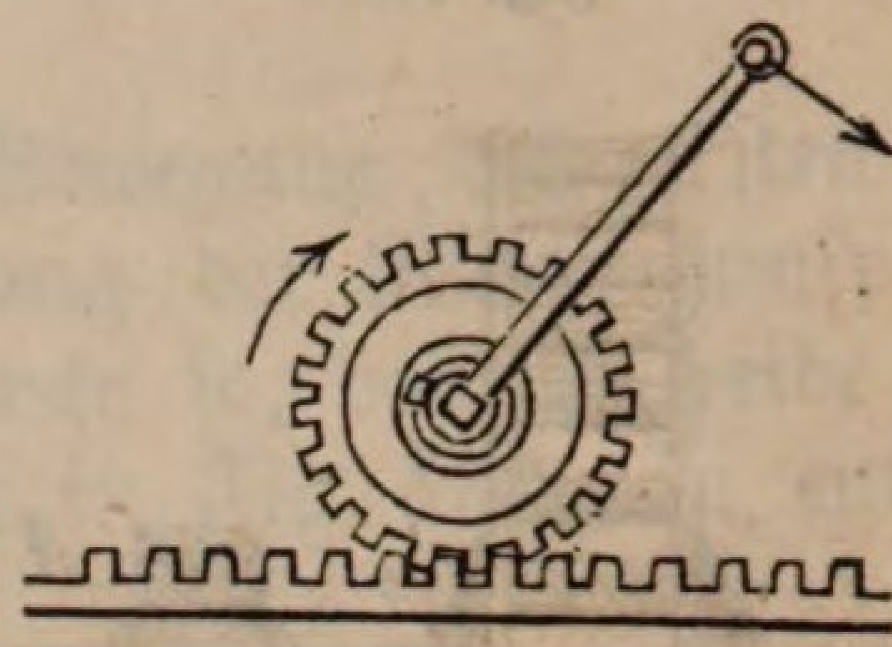
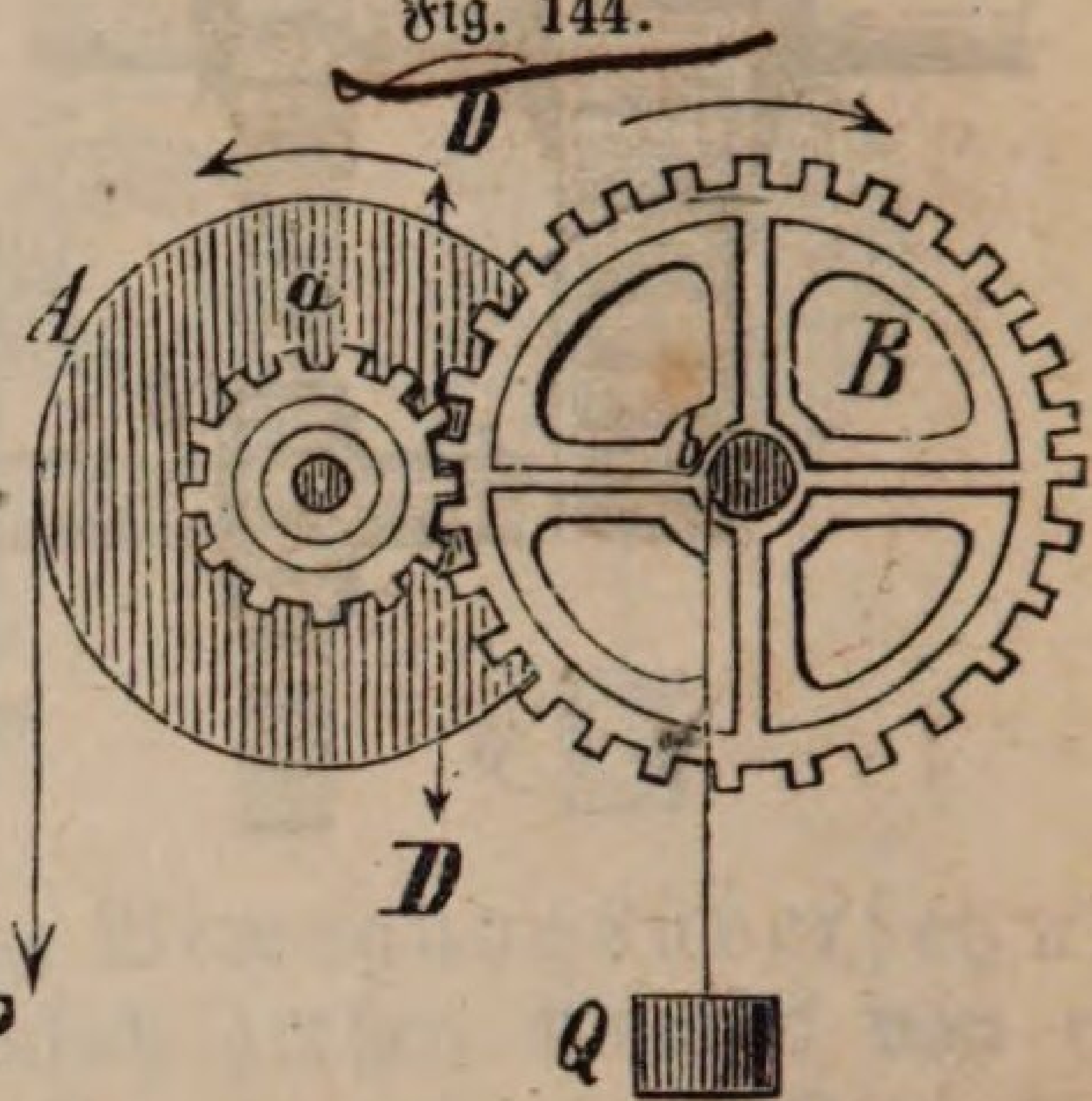


Fig. 144.



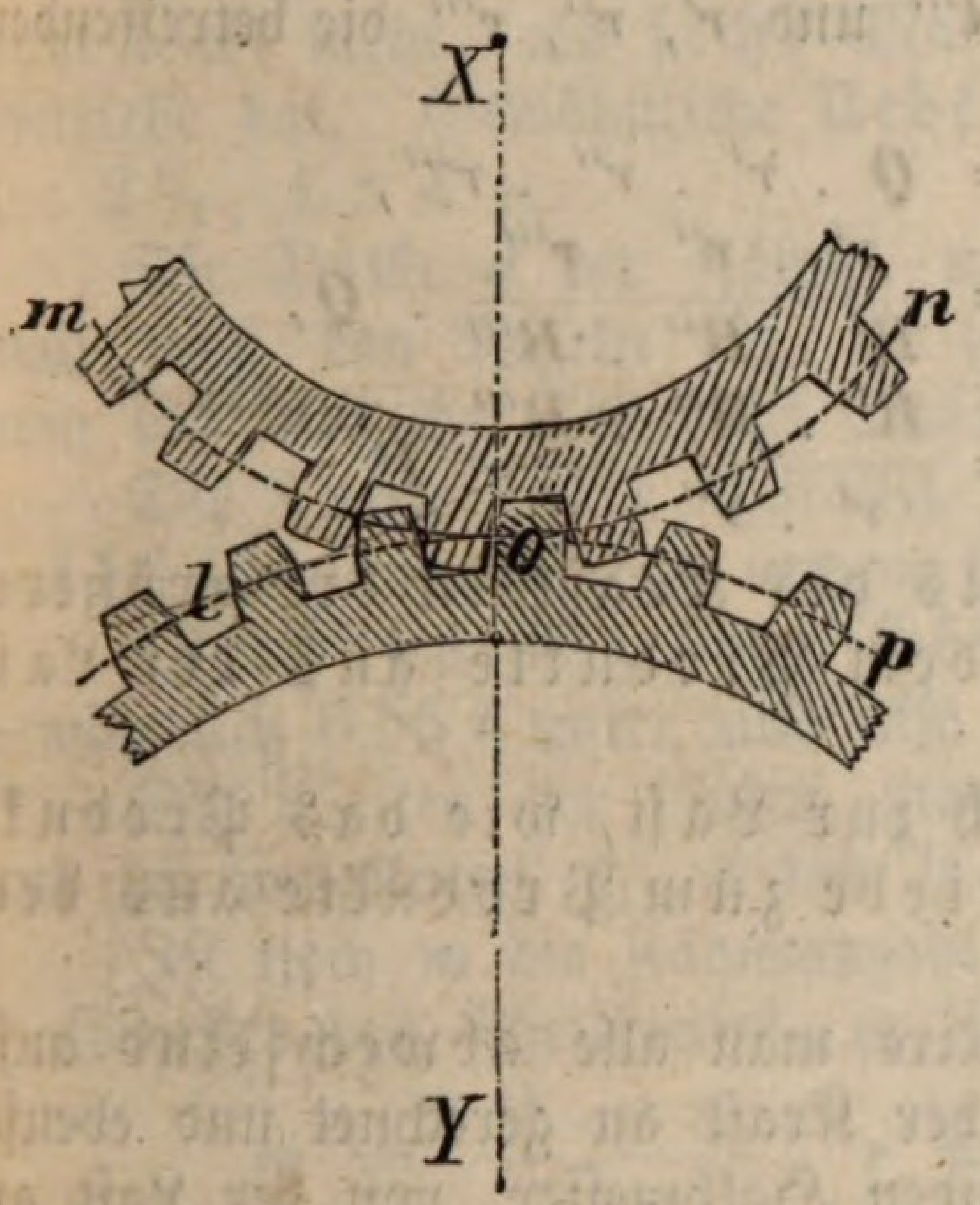
haben die gleiche Umfangsgeschwindigkeit, hingegen macht das kleinere Rad (das Getriebe) ***a*** sovielmal mehr Umdrehungen, als das große Rad ***B***, als der Umfang (Durchmesser) des kleinern Rades im Umfange (Durchmesser) des größern enthalten ist.

Hat aber ein Rad einen 2mal, 3mal ꝛc. größern Umfang, als das eingreifende kleinere Rad, so hat es auch 2mal, 3mal ꝛc. mehr Zähne. Denn zwei ineinander greifende Räder haben immer die gleiche Theilung oder Schrift, d. h. die Entfernung von einem Zahnmittel zum andern muß beiderseits gleich sein.

Die Umdrehungsanzahlen zweier ineinander greifenden Räder verhalten sich darum umgekehrt wie ihre Halbmesser oder ihre Zähneanzahlen. — Hat also das größere Rad 96 und das kleinere Rad 24 Zähne, so kommen auf einen Umgang des größern vier Umdrehungen des kleinern Rades.

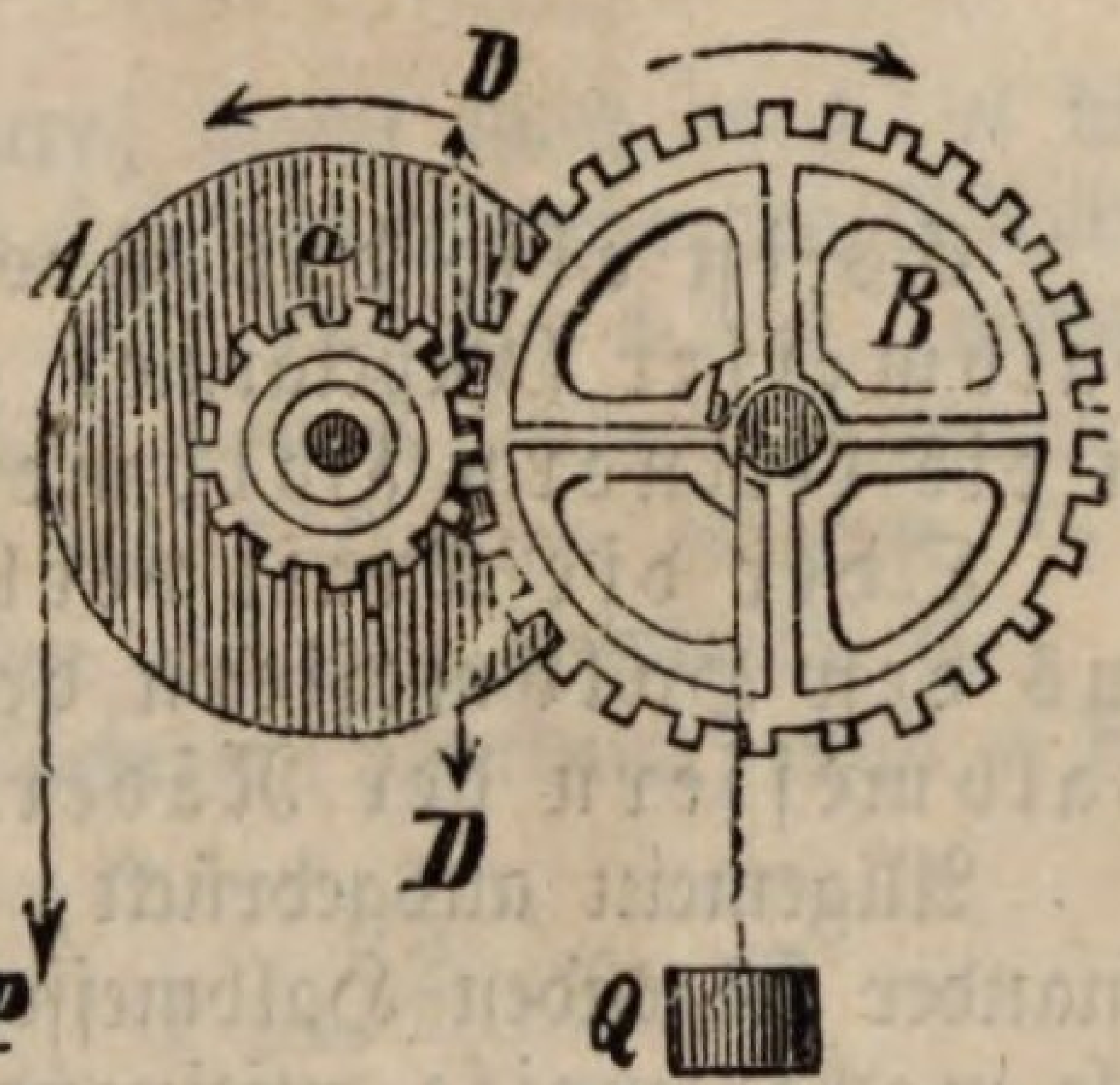
4) Die Kraft, mit welcher ein Zahnrad auf das andere einwirkt, hat ihren Angriffspunkt im Theilkreis. Man versteht unter dem Theilkreis denjenigen Kreis am Radumfange, auf welchem man die Zähne eintheilt. Natürlich geht derselbe so ziemlich durch die Mitte der Zahnlänge. Man findet seine richtige Lage aber so, daß man die Entfernung der beiden Wellen, d. i. die sogen. Centrallinie ***XY***, Fig. 145, in soviele Theile theilt, als die beiden Räder zusammen Zähne erhalten sollen. Es soll z. B. das Rad ***Y*** 36 und ***X*** 24 Zähne erhalten, so theilt man ***XY*** in 36 + 24 = 60 Thl. Alsdann enthält ***YO*** 36 und ***XO*** 24 solche Theile, und ***YO*** und ***XO*** sind die Halbmesser der ~~in~~ der Centrallinie sich berührenden Theilkreise.

Fig. 145.



Statt in 36 + 24 kann man *XY* auch in 3 + 2, d. i. in 5 Theile eintheilen. Dann kommen 3 Theile auf *YO* und 2 Theile auf *XO*.

Fig. 146.



5) Ist nun *P*, Fig. 146, die Triebkraft und *Q* die am Ende durch die Welle *b* des Rades *B* gehobene Last, und es sei *D* der Druck im Theilkreis zwischen den Zahnrädern *a* und *B*, so ist, wenn R' und R'' die Halbmesser der Räder *A* und *B* und r' und r'' die Halbmesser des Getriebes *a* und der Welle *b* sind, für das Gleichgewicht am ersten Wellrade $P \cdot R' = D \cdot r'$,

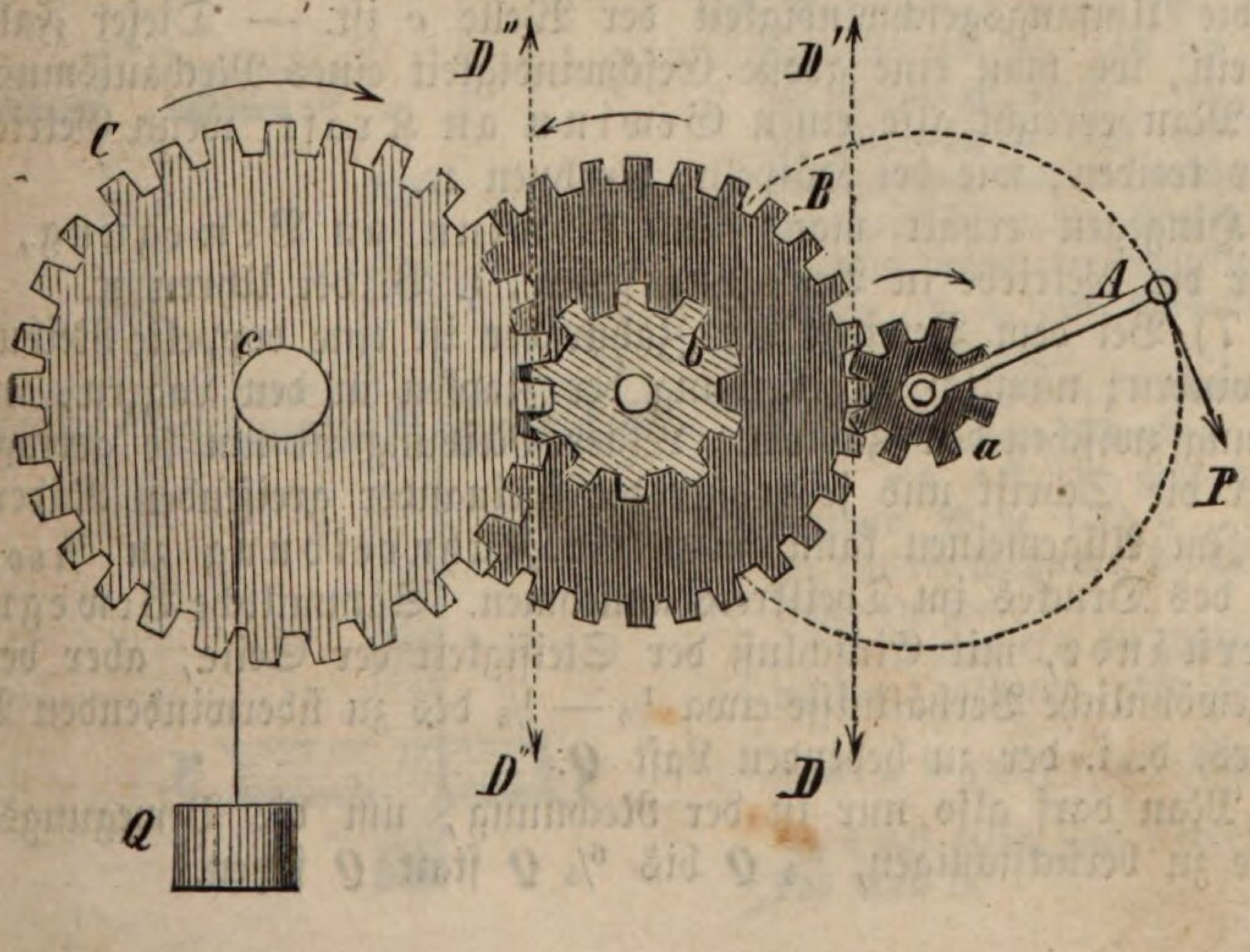
und für das zweite Wellrad $D \cdot R'' = Q \cdot r''$.

Multiplizirt man beide Gleichungen, so erhält man, da sich *D* hebt,

$$P \cdot R' \cdot R'' = Q \cdot r' \cdot r''.$$

Für eine Räderverbindung wie Fig. 147, ergibt sich hieraus, so=

Fig. 147.



wie schon aus den für die Hebelverbindungen aufgestellten Regeln für's Gleichgewicht, wenn wieder R', R'', R''' und r', r'', r''' die betreffenden Halbmesser sind,

$$P \,.\, R' \,.\, R'' \,.\, R''' = Q \,.\, r' \,.\, r'' \,.\, r''',$$

und folglich $P = \frac{r' \,.\, r'' \,.\, r'''}{R' \,.\, R'' \,.\, R'''} \,.\, Q,$

$$Q = \frac{R' \,.\, R'' \,.\, R'''}{r' \,.\, r'' \,.\, r'''} \, P.$$

Es ist also das Produkt aus der Kraft in die größern Halbmesser (Hebelarme) gleich dem Produkte aus der Last in die kleinern Halbmesser.

Oder die Kraft verhält sich zur Last, wie das Produkt aus den Halbmessern der Getriebe zum Produkte aus den Halbmessern der Räder.

Allgemein ausgedrückt, multiplicire man alle abwechselnd aufeinander folgenden Halbmesser, von der Kraft an gerechnet und ebenso alle wechselweise aufeinander folgenden Halbmesser, von der Last an gezählt.

Da die Zähneanzahlen sich wie die Halbmesser ineinandergreifender Räder verhalten, kann man auch für je zwei ineinandergreifende Räder die Zähneanzahlen statt der Halbmesser in Rechnung nehmen.

6) Wenn oben $R' \,.\, R'' \,.\, R'''$ 100 mal größer ist, als $r' \,.\, r'' \,.\, r'''$, so könnte man, wenn keine Reibung wäre, mit irgend einer Kraft eine 100 mal größere Last heben. Dabei macht aber unter allen Umständen, wie man leicht einsieht, der Kraftangriffspunkt A einen 100 mal größern Weg, als die Last Q. Diese erhebt sich also nur sehr langsam. Würde aber umgekehrt die Triebkraft die Welle c in Bewegung setzen, so würde der Punkt A eine 100 mal größere Geschwindigkeit annehmen, als die Umfangsgeschwindigkeit der Welle c ist. — Dieser Fall tritt dort ein, wo man eine große Geschwindigkeit eines Mechanismus will.

Man erreicht also einen Gewinn an Kraft, wenn Getriebe die Räder treiben, wie bei Häspeln, Krahnen 2c.

Hingegen erhält man einen Gewinn an Bewegung, wenn Räder die Getriebe in Bewegung setzen, z. B. bei Uhren 2c.

7) Bei dem Betriebe der Zahnräder ist eine doppelte Reibung zu überwinden; nämlich die Reibung der Zapfen in den Lagern, und die Reibung zwischen den Zähnen. Letztere Reibung ist um so geringer, je kleiner die Schrift und je größer die ineinander greifenden Räder sind.

Im Allgemeinen kann man die Zahnreibung zu $^1/_{100}$, d. i. 1 % des Druckes im Theilkreis annehmen. Sämmtliche Bewegungswiderstände, mit Einschluß der Steifigkeit der Seile, aber betragen für gewöhnliche Verhältnisse etwa $^1/_4$ — $^1/_5$ des zu überwindenden Widerstandes, d. i. der zu hebenden Last Q.

Man darf also nur in der Rechnung, um die Bewegungswiderstände zu berücksichtigen, $^5/_4\, Q$ bis $^6/_5\, Q$ statt Q setzen.

8) Bei regelmäßig gehenden Räderwerken gibt man einem Rade nicht leicht mehr, als sechs Mal soviel Zähne, als das eingreifende Getriebe hat. Gewöhnliche Uebersetzungsverhältnisse sind 1 : 3, 1 : 3½, 1 : 4 2c.

Die Dicke d der Zähne, nach dem Theilkreise gemessen, rechnet man nach den Regeln für die Festigkeit gegen das Abbrechen, wobei man bis 20fache Sicherheit annimmt.

Die Zahnbreite, parallel zur Radaxe, macht man $= 4 . d$ bis $5\,d$ bei langsam gehenden, und $= 6\,d$ bis $7\,d$ bei schnellgehenden Rädern.

Die Zahnlänge oder Höhe l ist $= 1{,}2\,d$ bis $1{,}5\,d$, wovon gewöhnlich $0{,}55\,l$ unter und also $0{,}45\,l$ über den Theilkreis kommen.

Die Weiten der Lücken macht man bei hölzernen Rädern $\frac{1}{7}\,d$ und bei metallenen $\frac{1}{10}\,d$ bis $\frac{1}{15}\,d$ größer als die Zahndicke d.

Ist noch m die Zähneanzahl, s die Schrift (Theilung) und r der Halbmesser des Theilkreises, so ist

$$m = \frac{2 . r \pi}{s}; \quad r = \frac{m . s}{2 . \pi}; \quad s = \frac{2 . r . \pi}{m}.$$

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Last kann vermittelst des Räderwerkes, Fig. 147, durch einen Mann, der an der Kurbel A wirkt, gehoben werden, wenn

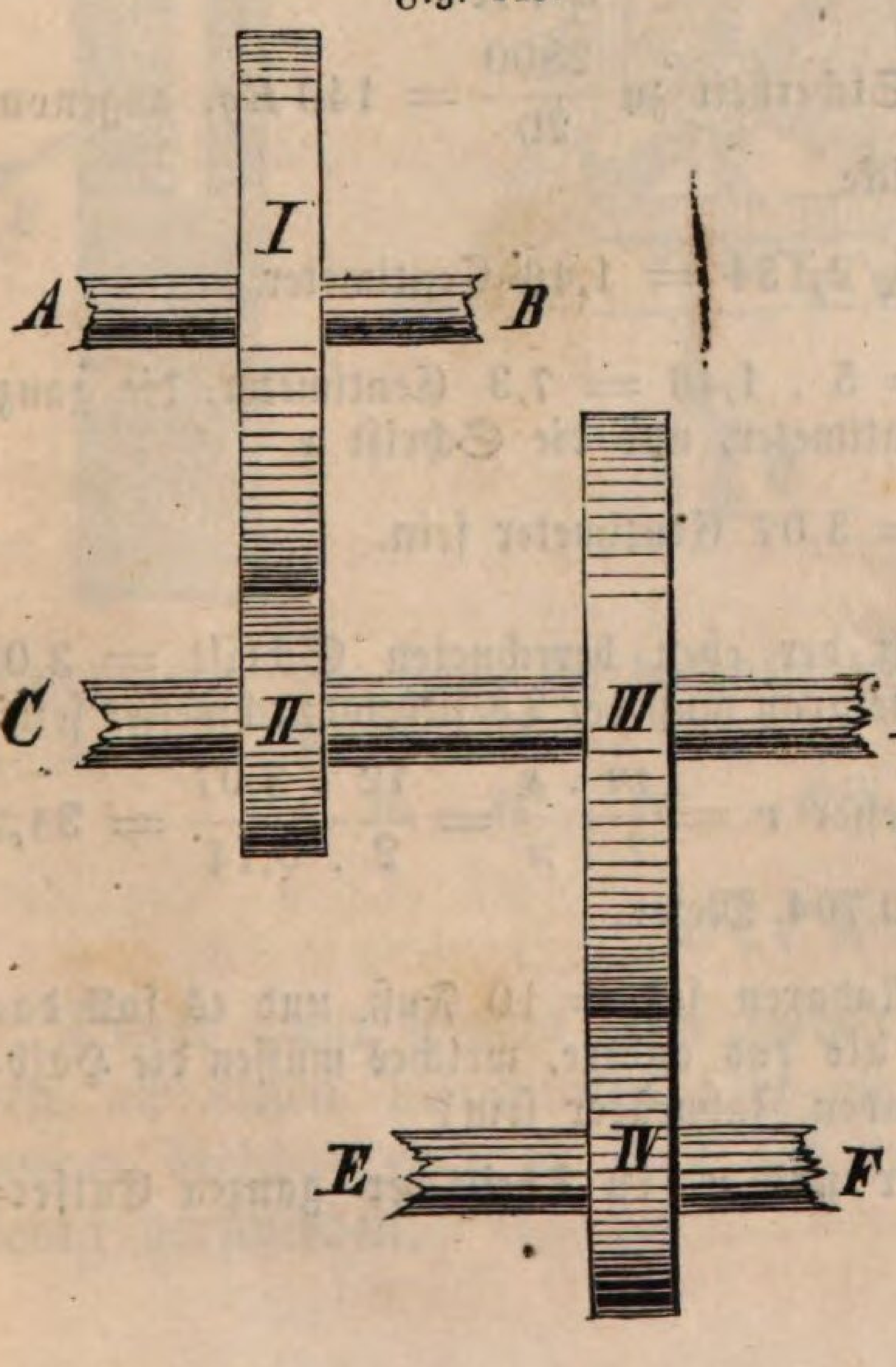
$$R' = 15'', \; R'' = 18'', \; R''' = 20'',$$
$$r' = 4'', \; r'' = 5'', \; r''' = 3'' \text{ ist?}$$

Auflösung. Nimmt man die Kraft, mit der ein Mann die Kurbel treibt, erfahrungsgemäß zu etwa 20 Pfd. an, so wäre ohne Bewegungshindernisse

$$Q = \frac{15 . 18 . 20}{4 . 5 . 3} . 20 = 1800 \text{ Pfd.}$$

Die Bewegungswiderstände zu $\frac{1}{4}Q$ bis $\frac{1}{5}Q$ angenommen, gibt $Q = \frac{4}{5} . 1800$ bis $\frac{5}{6} . 1800 =$ 1440 bis 1500 Pfd.

Fig. 148.



2te Aufgabe. Wenn eine Wasserradwelle AB Fig. 148 per Minute 12 Umgänge macht, und es soll die Arbeitswelle EF per Minute 120 Umgänge machen, welche Zähneanzahlen sind den betreffenden Rädern zu geben, wenn eine doppelte Uebersetzung, d. h. drei Wellräder angewendet werden?

Auflösung. Da EF 10mal, d. i. 5 . 2mal mehr Umgänge machen soll, als AB, so gebe man der mittlern Welle CD 5 . 12 oder 60, und der Welle EF 2 . 60 = 120 Umdrehungen.

Soll aber CD 60 Umdrehungen machen, während AB deren 12 macht, so muß das Rad I $\frac{60}{12}$ = 5mal mehr Zähne erhalten, als das Rad II.

Gibt man also dem Getriebe II 18, 20, 24 u. s. w. Zähne, so muß Rad I 90, 100, 120 u. s. w. Zähne erhalten.

Ebenso wenn auf 60 Umgänge des Rades III 120 Umläufe des Getriebs IV kommen sollen, so muß die Zähneanzahl des Rades III doppelt so groß, als die des Getriebes IV sein. Man kann also für das Getriebe IV eine beliebige Zähneanzahl wählen, und darf nur für das Rad III die Zahl doppelt so groß nehmen.

Soll die genannte Umgangszahl nicht vollkommen genau erreicht werden, so kann man mit Rücksicht auf die Zahnabnutzung den Rädern I und III auch einen Zahn mehr oder weniger geben, als berechnet wurde.

Will man verhindern, daß die Durchmesser der in einander greifenden Räder zu verschieden werden, so kann man auch das Uebersetzungsverhältniß $3^1/_3 . 3$ anwenden.

Alsdann würde die Welle *CD* $3^1/_3 . 12 = 40$ Umgänge, und *EF* 3 mal $40 = 120$ Umläufe machen, während *AB* nur 12 macht.

Für diesen Fall müßte das Rad I $3^1/_3$ mal mehr Zähne erhalten, als das Rad II, und Rad III 3 mal so viel Zähne, als Rad IV.

Desgleichen ist das Uebersetzungsverhältniß $4 . 2^1/_2$ ebenfalls ein brauchbares u. s. w.

3 te Aufgabe. Welche Dimensionen müssen die Zähne eines gußeisernen Rades erhalten, wenn die im Theilkreise wirksame Kraft = 300 *Kg.* ist?

Auflösung. Nach Abschnitt VIII. c. gilt für die Festigkeit der Radzähne die Gleichung $P = \frac{b . d^2}{l} . \frac{K}{6}$, wenn *d* die Zahndicke, *b* die Zahnbreite und *l* die Zahnlänge unter dem Theilkreis bezeichnet.

Setzt man nun nach Seite 107 die ganze Zahnlänge = 1,5 *d*, so ist die Zahnlänge unter dem Theilkreis, welche gewöhnlich 0,55 der ganzen Länge gemacht wird, $l = 0{,}55 . 1{,}5\,d = 0{,}83\,d$ zu setzen.

Nimmt man ferner *b* zu 5 *d* an, so hat man

$$P = \frac{5d . d^2}{0{,}83 . d} . \frac{K}{6};\ \text{d. i.}\ d^2 = \frac{6 . 0{,}83 . P}{5 . K}.$$

Folglich, wenn *K* bei 20facher Sicherheit zu $\frac{2800}{20} = 140$ *Kg.* angenommen wird, ist die erforderliche Zahndicke

$$d = \sqrt{\frac{6 . 0{,}83 . 300}{5 . 140}} = \sqrt{2{,}134} = 1{,}46 \text{ Centimeter.}$$

Die Zahnbreite muß demnach $= 5 . 1{,}46 = 7{,}3$ Centimeter, die ganze Zahnlänge $= 1{,}5 . 1{,}46 = 2{,}2$ Centimeter, und die Schrift *s*

$$= 2 . 1{,}46 + \frac{1{,}46}{10} = 3{,}07 \text{ Centimeter sein.}$$

4 te Aufgabe. Wenn ein Zahnrad mit der eben berechneten Schrift = 3,07 Centimeter 72 Zähne erhalten soll, wie groß muß der Theilkreisdurchmesser sein?

Auflösung. Nach S. 107 ist der Halbmesser $r = \frac{m . s}{2 . \pi} = \frac{72 . 3{,}07}{2 . 3{,}14} = 35{,}2$ Centimeter; also der Durchmesser = 0,704 Meter.

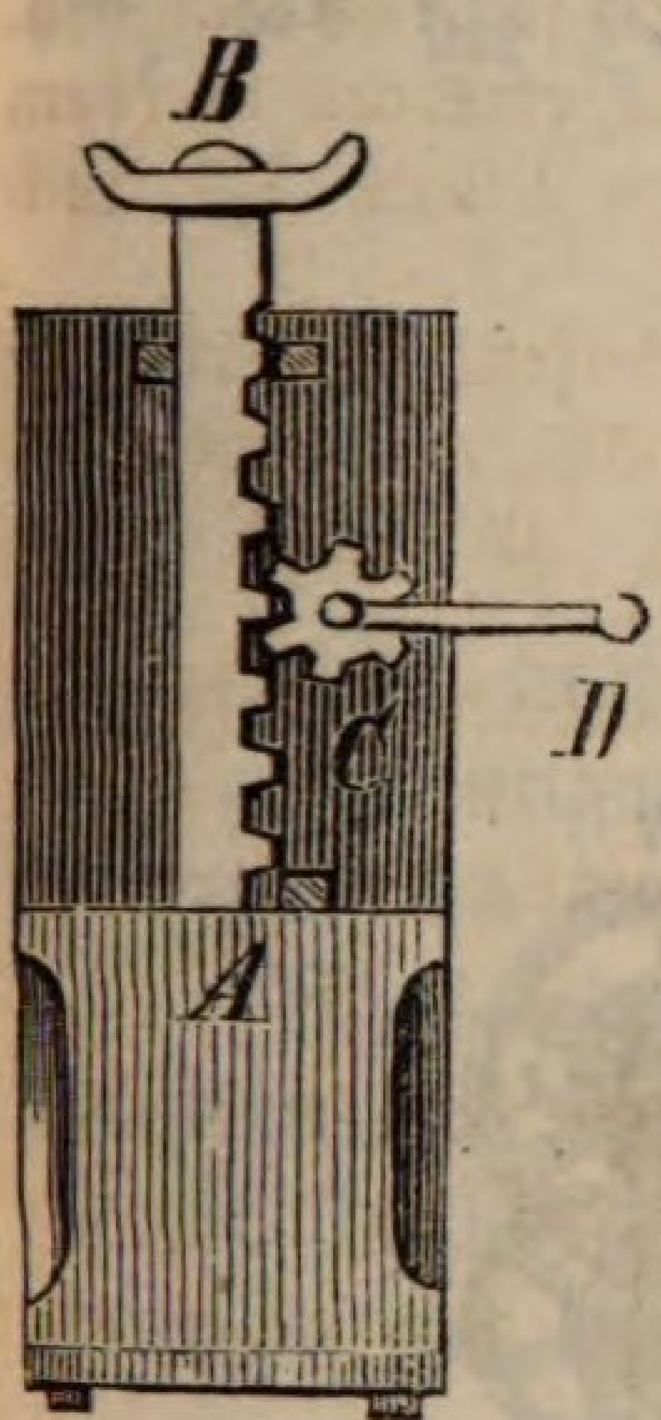
5te Aufgabe. Die Entfernung zweier Radaxen sei = 10 Fuß und es soll das eine Rad 4 mal mehr Zähne erhalten, als das andere, welches müssen die Halbmesser der betreffenden ineinandergreifenden Zahnräder sein?

Auflösung. Nach S. 107 muß *R* vier und *r* ein Theil der ganzen Entfernung, also $R = 8'$
$r = 2'$ betragen.

Winden und Häspel.

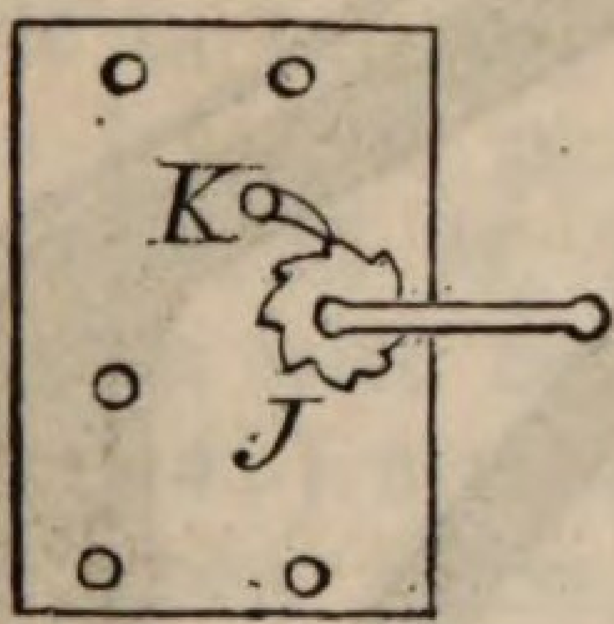
1) Zu den Räderverbindungen gehören die **Winden**, **Häspel** und **Krahnen**.

Fig. 149.



Bei der **gemeinen Fuhrmannswinde**, Fig. 149, hängt das Verhältniß zwischen Kraft und Last bloß von dem Verhältniß der Länge der Kurbel *D* zum Halbmesser des Rädchens *C* ab. Mit der Zahnstange *AB* wird keine Kraftvermehrung erzeugt, sondern dieselbe empfängt bloß den im Theilkreise des Rädchens *C* wirksamen Druck. — Das **Sperrrad** *K* und der **Sperrkegel** *J*, Fig. 150, verhindern das Zurückgehen.

Fig. 150.



2) Fig. 151 zeigt eine **zusammengesetzte Winde**. Dort geht die Bewegung von der Kurbel mittelst eines Getriebs auf ein Zahnrad, mit welchem wieder ein Getrieb verbunden ist, das dann die Zahnstange treibt. Sind *R'* und *R''* die Kurbellänge und der Radhalbmesser, und *r'* und *r''* die Halbmesser der Getriebe, so ist wie früher

$$P \,.\, R' \,.\, R'' = Q \,.\, r' \,.\, r''.$$

Fig. 151.

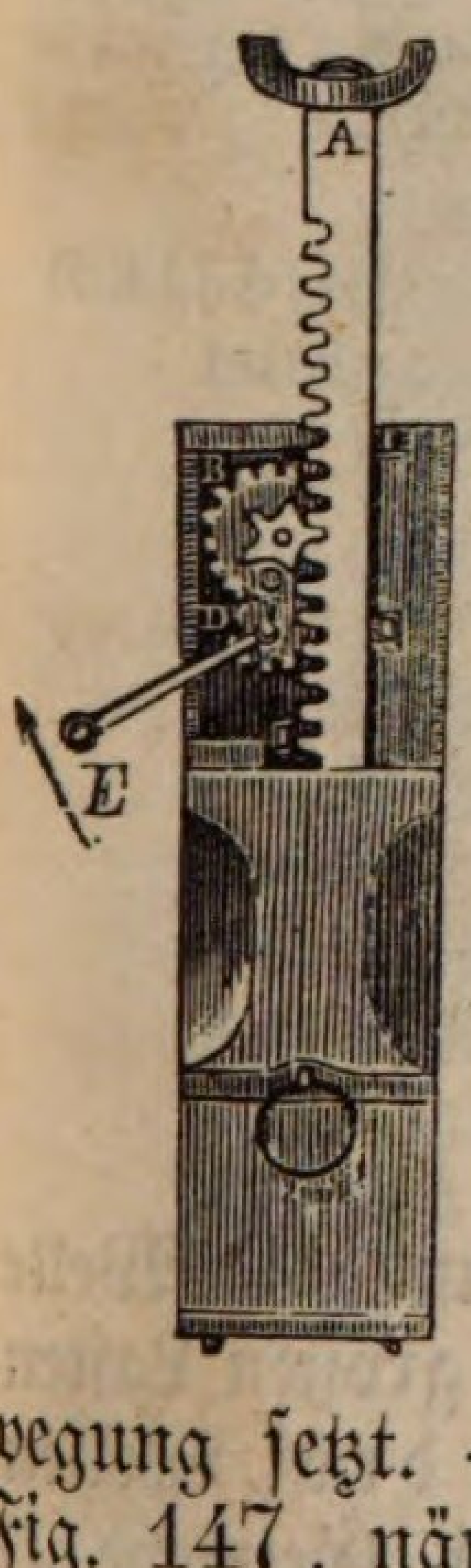
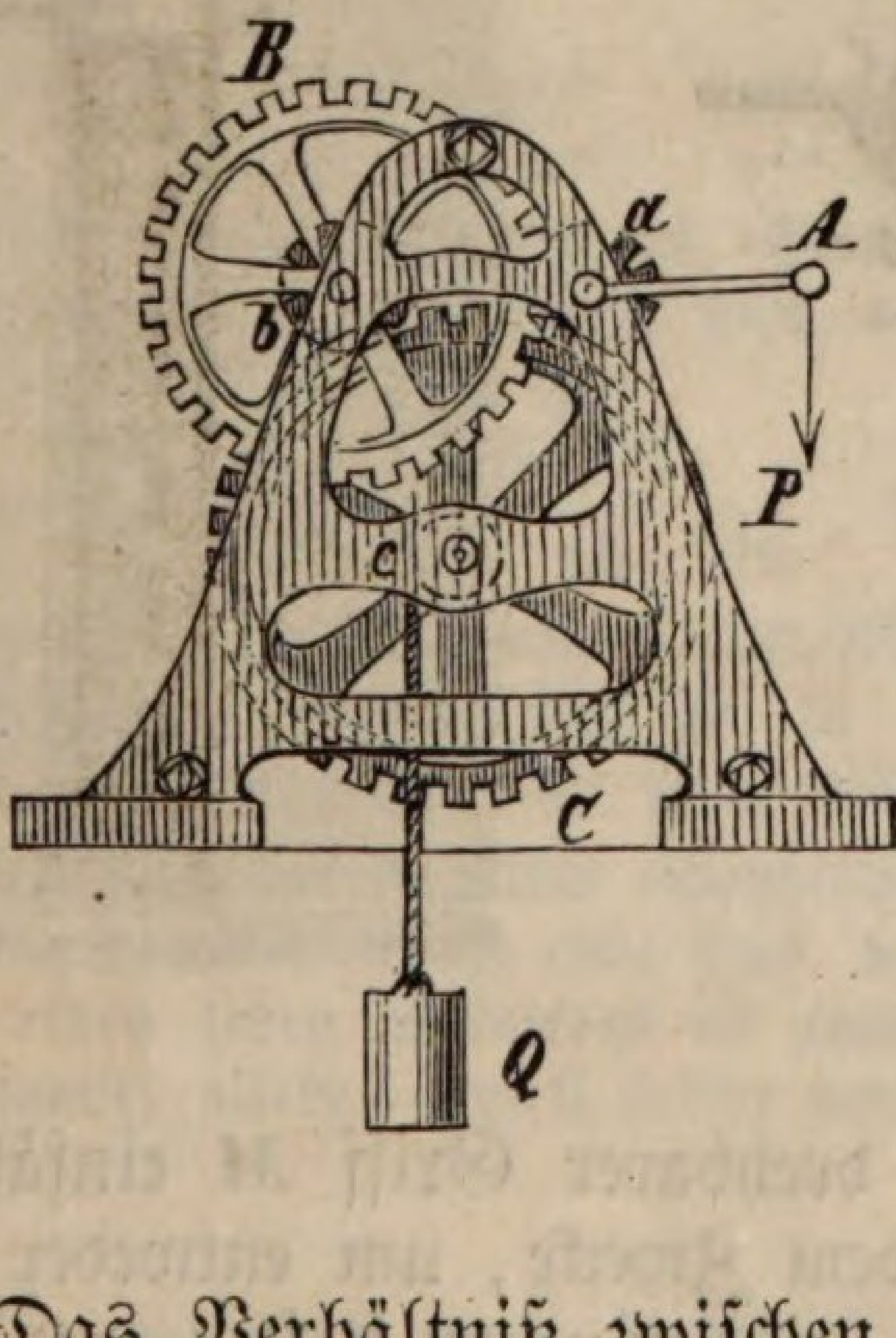


Fig. 152.



3) Bei dem **Haspel**, Fig. 152, wird die Bewegung der Kurbel durch das Getriebe *a* dem Rade *B* mitgetheilt. Mit diesem ist das Getriebe *b* verbunden, welches das Rad *C* und die damit verbundene Seilwelle *c* in Bewegung setzt. — Das Verhältniß zwischen Kraft und Last ist wie in Fig. 147, nämlich

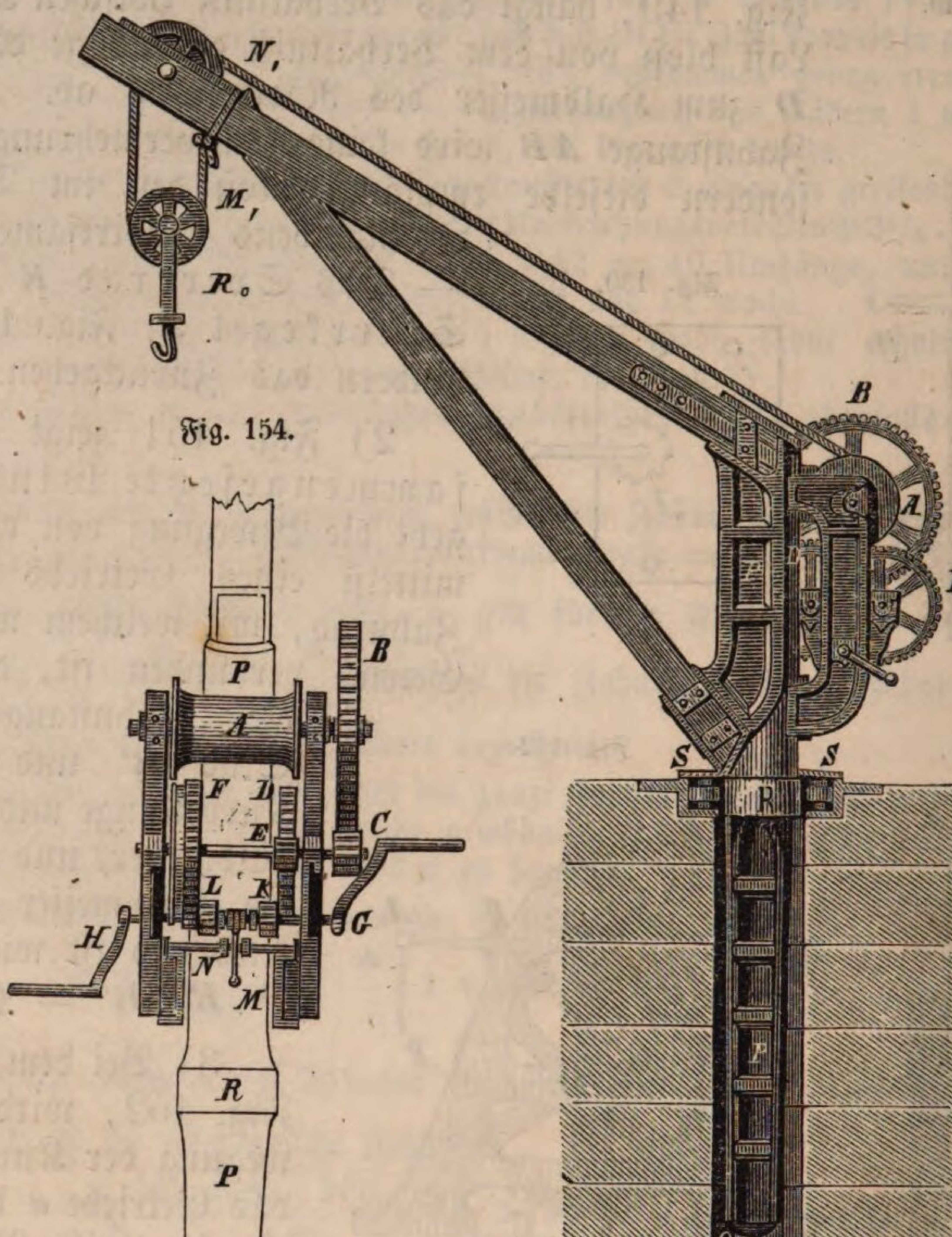
$$P \,.\, R' \,.\, R'' \,.\, R''' = Q \,.\, r' \,.\, r'' \,.\, r'''.$$

Der Krahn.

Dieser dient sowohl zum Heben von Lasten, als auch dazu, dieselben an einen bestimmten Ort zu bringen. Darum ist der Krahn entweder drehbar oder er steht auf einer Art Wagen und läßt sich dann beliebig verschieben.

Fig. 153 und 154 zeigen einen drehbaren Krahn. Die Triebwelle *HG* ist in der Art verschiebbar, daß sie ringförmige Ansätze hat,

Fig. 153.



zwischen welche ein um *N* drehbarer Griff *M* einfällt und die Welle festhält. Dies geschieht zu dem Zwecke, um entweder bei großen Lasten mit vier Wellen, oder aber bei geringern Lasten nur mit drei Wellen zu arbeiten. Es trägt nämlich die Triebwelle *HG* zwei Getriebe *L* und *K* (s. Fig. 154). Schiebt man nun die Welle links, so greift das Getriebe *L* in das Rad *F*. Mit diesem sitzt auf gleicher Welle rechts das Getriebe *E* und greift in das Rad *D*, dessen Welle gerade hinter der Welle der Räder *F* und *E* liegt. Auf der Axe des Rades *D* befindet sich das Getriebe *C*. Dieses treibt das Rad *B* und damit die Seilwelle oder Trommel *A*.

Schiebt man aber das Getriebe *K* unter das Rad *D*, so geht die

Bewegung unmittelbar durch *C* auf *B*. Die vordere Welle mit dem Getriebe *E* und dem Rade *F* drehen sich dann unthätig mit.

Für die ganze dreifache Uebersetzung, d. h. beim Gebrauche von vier Wellen, hat man für die in *A* zu hebende Last, wenn R', R'', R''', R^{IV} die Kurbellänge und Halbmesser der Räder *F*, *D* und *B*, und r', r'', r''', r^{IV} die Halbmesser der Getriebe *L*, *E*, *C* und der Seilwelle *A* sind:

$$Q = \frac{R' \,.\, R'' \,.\, R''' \,.\, R^{IV}}{r' \,.\, r'' \,.\, r''' \,.\, r^{IV}} \,.\, P; \text{ und}$$

$$P = \frac{r' \,.\, r'' \,.\, r''' \,.\, r^{IV}}{R' \,.\, R'' \,.\, R''' \,.\, R^{IV}} \,.\, Q.$$

Ist noch, wie in der Fig. 153, das Lastseil um eine lose Rolle R_0 geschlungen, so kann die zu hebende Last das Doppelte von *Q* betragen, da dann das Seil *M*, die Hälfte der angehängten Last trägt.

Das Zurückgehen wird durch ein Sperrrad und einen Bremsezaum (s. oben Fig. 47) verhindert. Damit aber die Krahnsäule sich leicht dreht, ist sie von einem, einem Halsbande ähnlichen, Rollenkranze *SS* umgeben.

Aufgabe.

Welche Kraft ist nöthig, um mit dem Krahn Fig. 153 eine Last von 225 Centnern zu heben, wenn

$R' = 15''$; $R'' = 18''$; $R''' = 18''$; $R^{IV} = 25''$,
$r' = 4''$; $r'' = 4''$; $r''' = 4\frac{1}{2}''$ und $r^{IV} = 5''$ ist?

Auflösung. Ohne Berücksichtigung der Bewegungswiderstände hat man, weil die durch die Kraft *P* zu überwindende Last, vermöge der angebrachten losen Rolle, nur $= \frac{1}{2} Q = 11250$ Pfd. ist,

$$P = \frac{4 \,.\, 4 \,.\, 9 \,.\, 5}{2 \,.\, 15 \,.\, 18 \,.\, 18 \,.\, 25} \,.\, 11250 = 33\frac{1}{3} \text{ Pfd.}$$

Rechnet man noch (vergl. Aufg. 1 über Räderwerke) die gesammten Bewegungswiderstände zu $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{4}$ der Last *Q*, so ist für den wirklichen Betrieb der Maschine eine Kraft von 40—42 Pfd. nöthig.

Es sind darum zwei Arbeiter erforderlich, welche an zwei Kurbeln thätig sind, um mit genannter Kraft eine Last von 225 Centnern zu heben. — Die Anstrengung eines jeden Arbeiters ist zwar dann etwas größer, als man gewöhnlich annimmt; allein — weil solche vorübergehend ist — doch nicht zu groß.

C. Von den Rollenverbindungen.

1) Der Rollen- oder Potenzenzug ist eine Verbindung mehrerer loser mit einer festen Rolle.

Bei der Verbindung, Fig. 155, sieht man leicht, daß das Seilstück *a* nur die Last $\frac{1}{2}$ *Q* zu tragen hat. Der Zug in *a* ist aber die Belastung der zweiten Rolle *B*. Der im Seilstücke *b* wirksame Zug ist wieder nur die Hälfte des Zuges in *a*, also $= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}\, Q$. Diese Last wirkt wieder an der Rolle *C*, und es ist folglich der Zug in *c*,

Fig. 156.

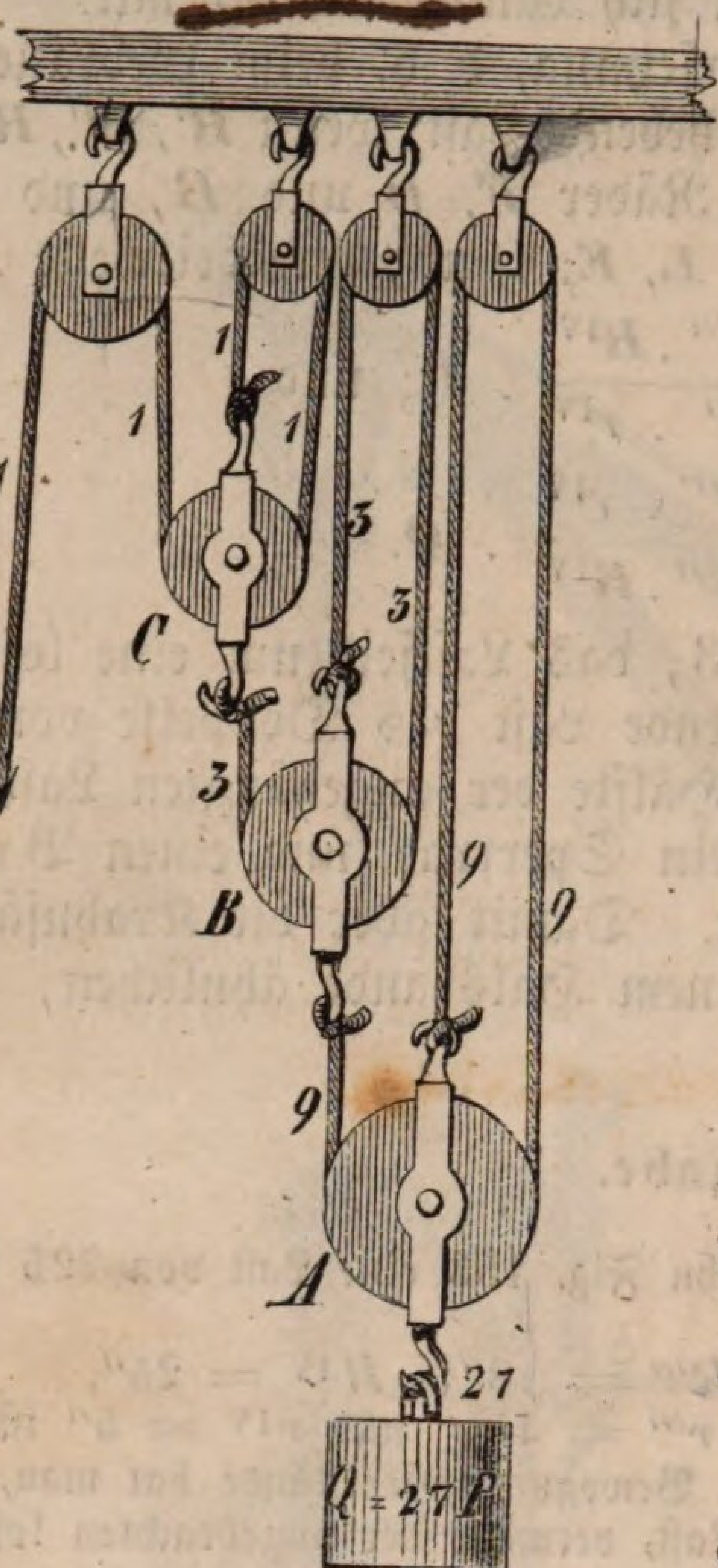
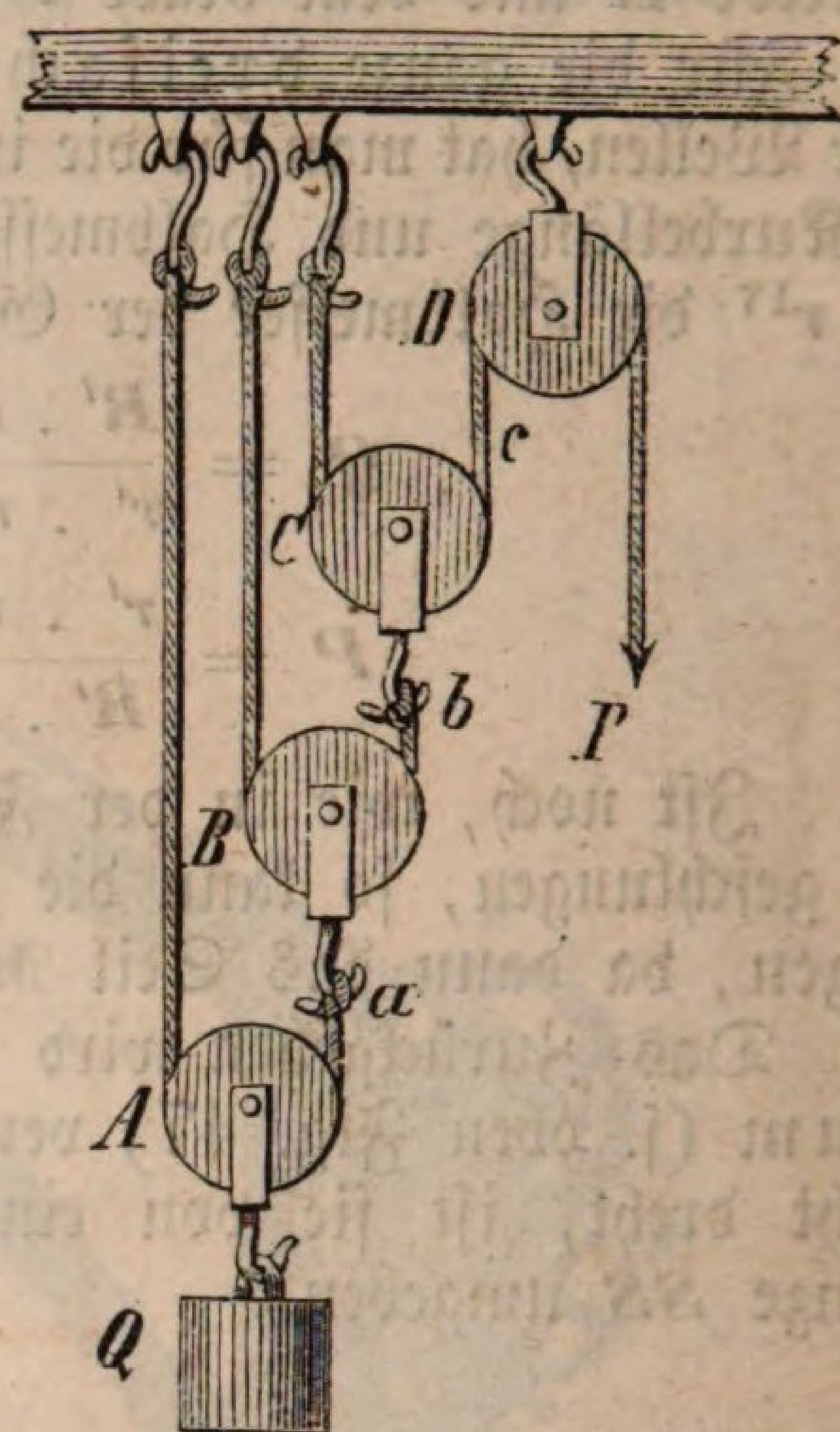


Fig. 155.



d. i. die Kraft

$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}\, Q$, oder $P = \frac{Q}{2^3}$.

Wären vier lose Rollen vorhanden, so wäre $P = \frac{Q}{2^4}$, und bei n losen Rollen

$$P = \frac{Q}{2^n}; \text{ und } Q = 2^n \cdot P.$$

Bei der Verbindung, Fig. 156, vertheilt sich, wie die Ziffern angeben, die Belastung einer jeden losen Rolle in drei Seilstücke, so daß der Zug in jedem nur $\frac{1}{3}$ der an der Rolle wirksamen Last ist. Darum ist dort bei drei losen Rollen $P = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3}\, Q = \frac{Q}{3^3}$,

und bei n losen Rollen $P = \frac{Q}{3^n}$; und $Q = 3^n \cdot P$.

Da bei diesen Rollenverbindungen das Verhältniß zwischen Kraft und Last sich nach den Potenzen der einzelnen tragenden Seilstücke richtet, so nennt man solche **Potenzenzüge**.

2) Bei den sogen. **Flaschenzügen**, Fig. 157 und 158, sind mehrere Rollen in einem festen Gehäuse (Flasche) miteinander verbunden. Bei dieser Anordnung, wo in jeder Flasche **drei** Rollen sind, wird die Last Q von **sechs**, d. i. von 2 . 3 Seilstücken a, b, c, d, e, f getragen.

Fig. 157.

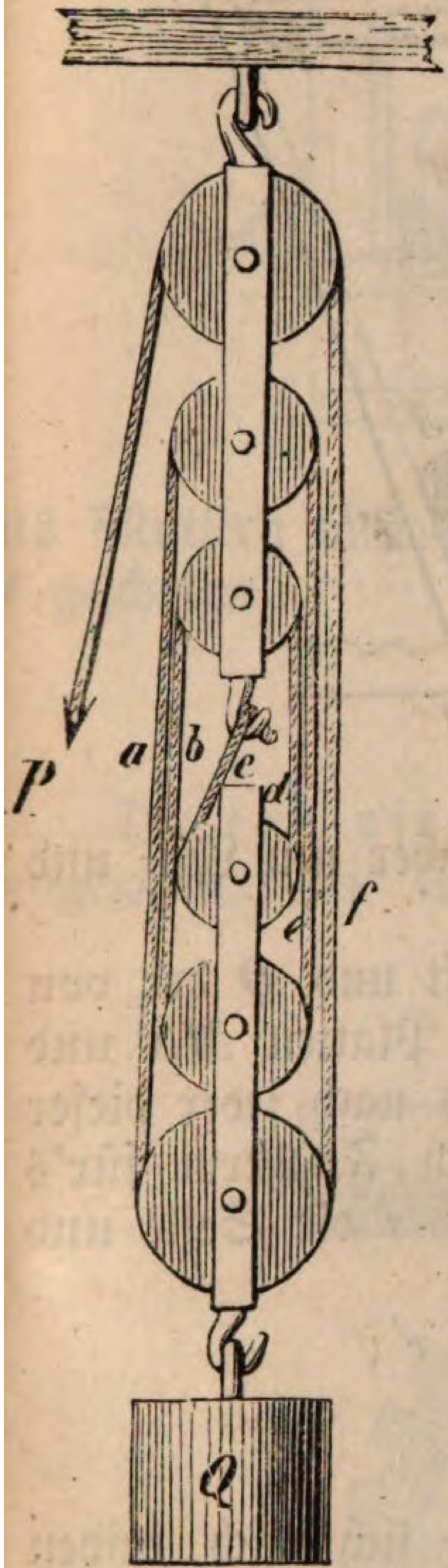
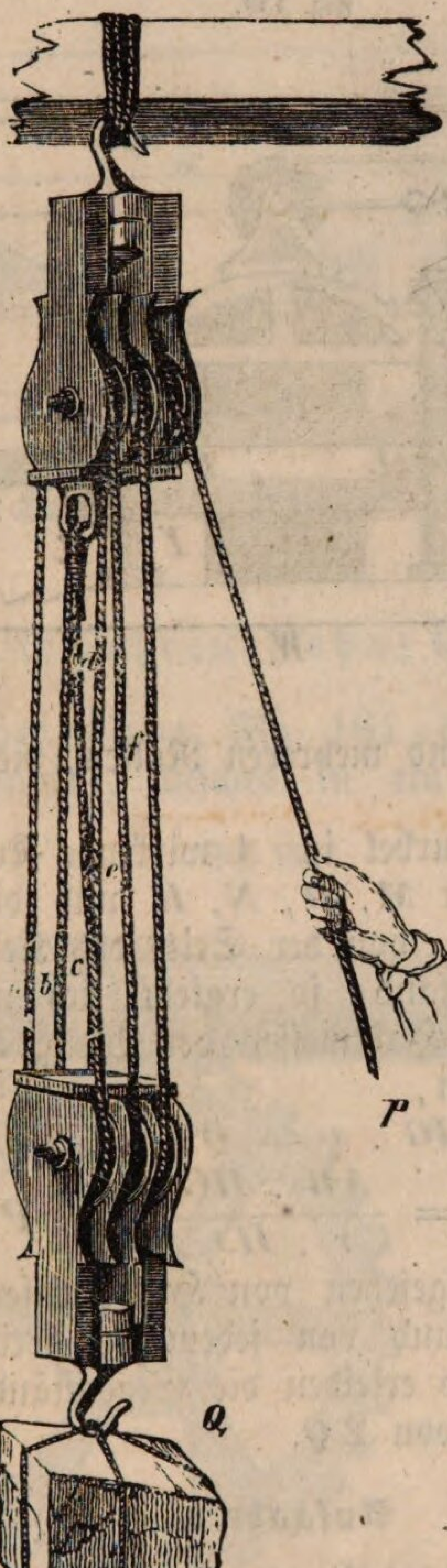


Fig. 158.



Es ist dann die Spannung des Seils, d. i.

$$P = \frac{1}{6} Q = \frac{Q}{2 \cdot 3},$$

und bei n Rollen in einer Flasche

$$P = \frac{Q}{2 \cdot n};\ Q = 2 \cdot n \cdot P.$$

Es ist also die Last gleich der Kraft, multiplicirt mit der doppelten Anzahl der in einer Flasche befindlichen Rollen.

3) Man sieht, daß man mit den Flaschenzügen keine so große Lasten heben kann, wie mit Potenzenzügen bei gleicher Rollenanzahl. Dennoch sind letztere Rollenverbindungen weniger gebräuchlich, da ihre Anwendung unbequem ist. — Hinsichtlich der Flaschenzüge ist noch zu bemerken, daß die Rollen ungleiche Durchmesser haben müssen, damit die Seilstücke sich nicht reiben.

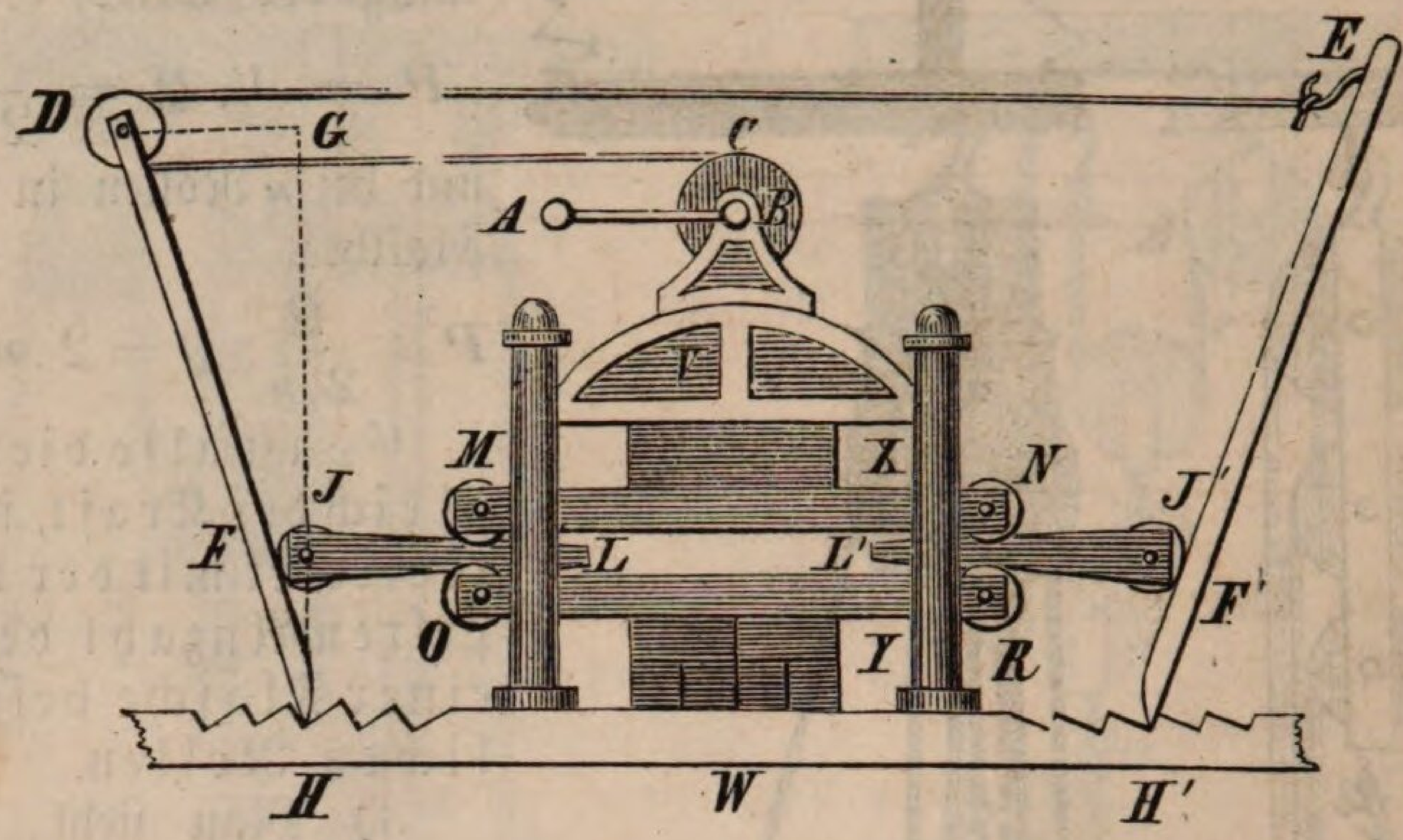
Bei den Rollenverbindungen verursachen die Zapfenreibung und Seilsteifigkeit, namentlich bei vielen Rollen, eine bedeutende Beeinträchtigung des Effektes. Bei gewöhnlichen Flaschenzügen mit 2, 3 und 4 Rollen in einer Flasche betragen diese Hindernisse $\frac{1}{3}$ Q, $\frac{1}{2}$ Q, $\frac{2}{3}$ Q, so daß man bei 2, 3, 4 Rollen $\frac{4}{3}$ Q, $\frac{3}{2}$ Q, $\frac{5}{3}$ Q als Widerstand in Rechnung nehmen muß. Bei noch mehr Rollen sind die Hindernisse so groß, daß kaum noch ein Kraftgewinn erzielt wird.

D. Verbindungen verschiedenartiger mechanischer Potenzen.

Die Keilpresse.

Die Keilpresse, Fig. 159, ist zusammengesetzt aus dem Wellrade ACB, den doppelt vorhandenen einarmigen Hebeln DFH und $EF'H'$,

Fig. 159.



den Keilen JL und $J'L'$ und mehreren Rollen, die aber nur Leit- und Frictionsrollen sind.

Ist P die an der Kurbel in A wirkende Kraft und Q der von jedem Keil durch die Rollen M, O, N, R und die Platten MN und OR in senkrechter Richtung von der Seite des Keils nach jeder dieser Seite überwundene Widerstand, so ergiebt sich nach Früherm für's Gleichgewicht, wenn r der Halbmesser der Welle B, s die Seite und r' der Rücken des Keiles ist,

$$P \, . \, AB \, . \, HG \, . \, s = Q \, . \, r \, . \, HJ \, . \, r';$$

$$\text{folglich } Q = \frac{AB \, . \, HG \, . \, s}{r \, . \, HJ \, . \, r'} \, . \, P.$$

Da dieser Druck, abgesehen von Hindernissen, sich nach beiden Seiten des Keiles äußert und von jedem der Keile in fast paralleler Richtung ausgeübt wird, so erleiden die Gegenstände in X und Y eine Pressung durch eine Kraft von $2\,Q$.

Aufgabe.

Wie stark werden die Körper X und Y zusammengepreßt, wenn

$P = 20$ Pfd., $AB = 16''$, $HG = 40''$, $s = 18''$,
$r = 4''$, $r' = 3''$ u. $HJ = 12''$ ist?

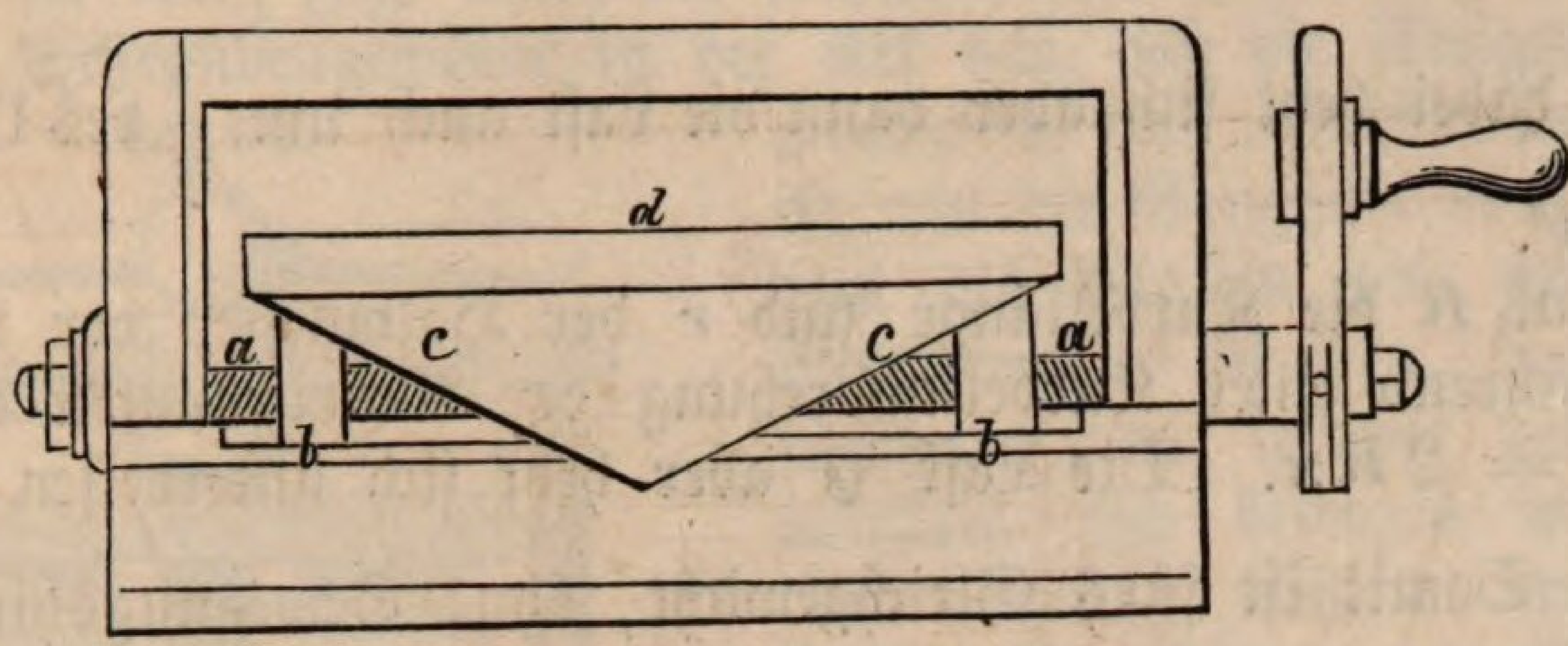
Auflösung. Nach Obigem ist die nach oben und unten wirkende, gesammte pressende Kraft

$$= 2 \, . \, \frac{16 \, . \, 40 \, . \, 18 \, . \, 20}{4 \, . \, 3 \, . \, 12} = 3200 \text{ Pfd.}$$

Es könnte also ein Mann, wenn keine Bewegungshindernisse widerstehen würden, vermittelst obiger Presse ganz bequem einen Druck von 32 Centnern ausüben.

Bei der Keilpresse, Fig. 160, werden durch Drehung der Schraubenspindel aa, die zur Hälfte links, zur Hälfte rechts geschnitten ist, zwei

Fig. 160.

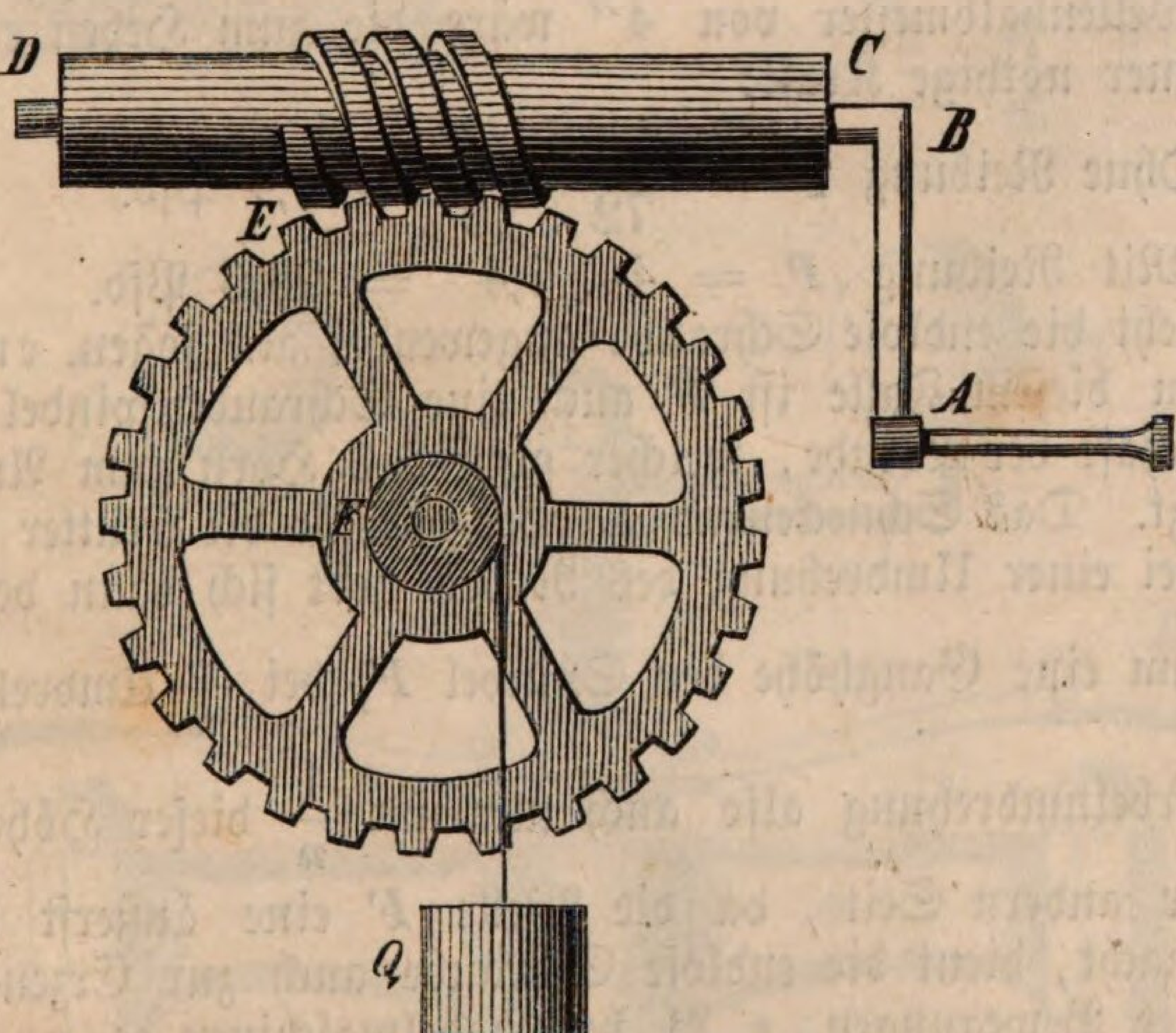


ls Muttern dienende Keile unter vorragende Nerven *cc* der Preßplatte *d* geschoben.

Die Schraube ohne Ende.

Die endlose Schraube, Fig. 161, besteht aus einem Schraubengewinde (der Schnecke), welches in ein entsprechend construirtes

Fig. 161.



Zahnrad eingreift, dessen Zähne nach der Richtung des Schraubengewindes schief gestellt sind.

Das Verhältniß zwischen Kraft und Last ergiebt sich, wenn angenommen wird, das die Last tragende Seil wickle sich auf die Welle *F*, am einfachsten so:

Ist die Schraube eine einfache, so wird bei einer Umdrehung der Kurbel *AB* das Rad *E* um einen Zahn vorwärts bewegt. Sind

darum n Zähne vorhanden, so dreht sich hiebei das Rad um $\frac{1}{n}$ seines Umfanges; dabei hebt sich aber dann die Last auch um $\frac{1}{n}$ des Umfanges der Welle F.

Ist nun R die Kurbellänge und r der Halbmesser der Welle F, so macht während einer Kurbelumdrehung der Angriffspunkt der Kraft einen Weg $= 2 R \pi$. Die Last Q aber hebt sich unterdessen nur um $\frac{1}{n} \cdot 2 r \pi$. Somit ist fürs Gleichgewicht, ohne Bewegungshindernisse,

$$P \cdot 2 R \pi = \frac{Q \cdot 2 r \pi}{n};$$

woraus sich ergiebt: $Q = \frac{n R}{r} \cdot P$.

Man sieht, daß der Effekt einer solchen Maschine ein sehr großer ist. Allein die Reibung der Schraube verursacht, daß der wirkliche Widerstand ein drei- bis vierfacher des theoretischen ist. Dessenungeachtet ist die Wirkung doch noch eine große.

Bei 72 Zähnen des Schneckenrades, einer Kurbellänge von 15″ und einem Wellenhalbmesser von 4″ wäre die zum Heben einer Last von 20 Centner nöthige Kraft:

Ohne Reibung $P = \frac{4 \cdot 2000}{72 \cdot 15} = 7{,}4$ Pfd.

Mit Reibung $P = 4 \cdot 7{,}4 = 29{,}6$ Pfd.

Man sieht die endlose Schraube angewendet als sogen. englische Winde. In diesem Falle ist F auch eine Schraubenspindel und zugleich der Schaft der Winde, welcher oben das Horn zum Aufnehmen der Last trägt. Das Schneckenrad E aber enthält die Mutter für diese Spindel. Bei einer Umdrehung des Rades hebt sich dann der Schaft der Winde um eine Ganghöhe der Spindel F, bei $\frac{1}{n}$ Umdrehung, d. i. bei einer Kurbelumdrehung also auch nur um $\frac{1}{n}$ dieser Höhe.

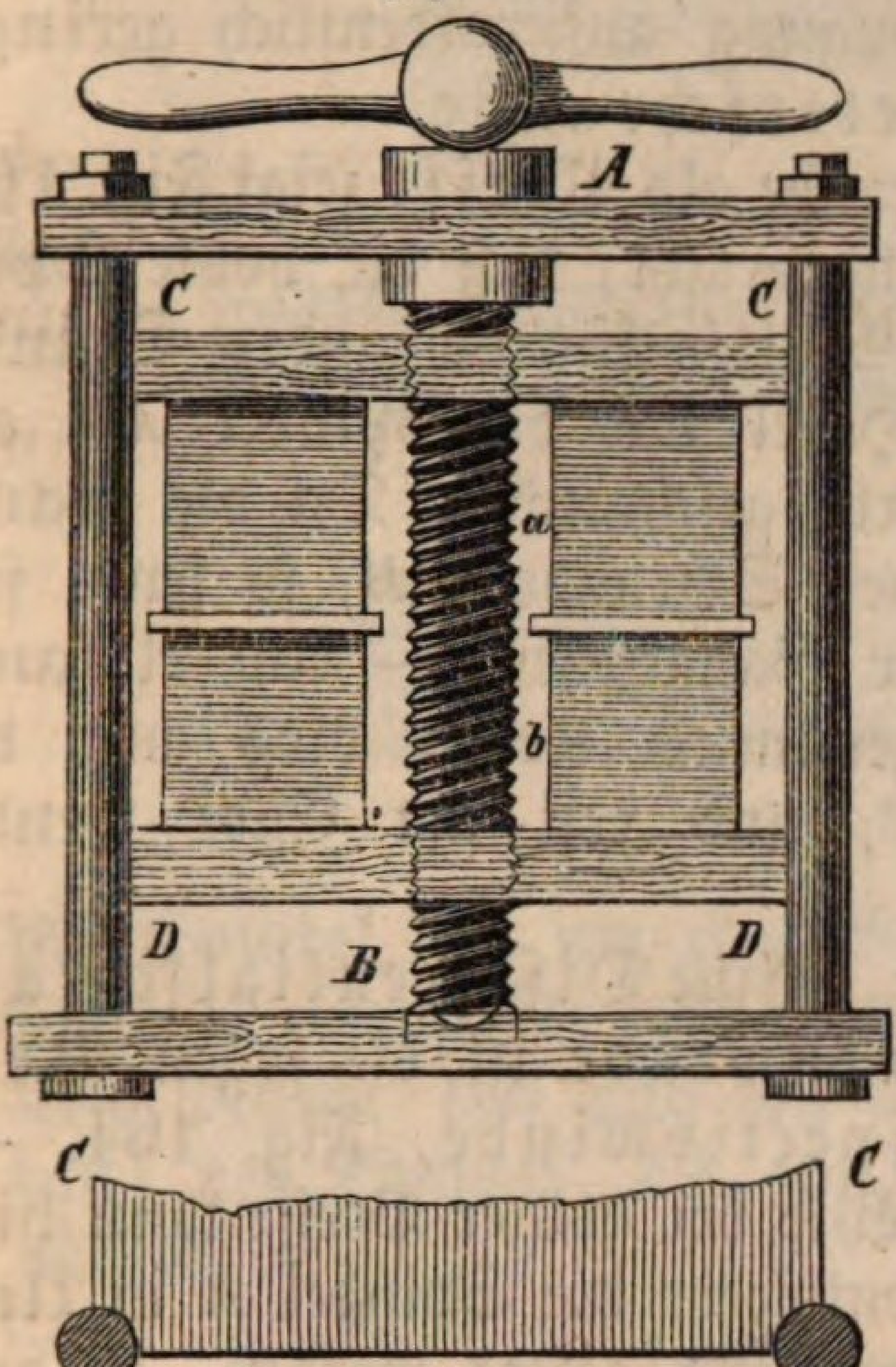
Auf der andern Seite, da die Welle F eine äußerst langsame Bewegung macht, dient die endlose Schraube auch zur Erzeugung geringer, sanfter Bewegungen, z. B. bei Hobelmaschinen 2c.

Die Differentialschraube.

Da das Verhältniß zwischen Kraft und Last bei einer jeden Maschine sich aus dem Verhältniß ihrer gleichzeitigen Wege ergiebt, so hat man in der Differentialschraube einen Mechanismus, der hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit gar keine andere Grenzen hat, als sie die Festigkeit des Materials vorschreibt.

Es sei **AB**, Fig. 162, die Schraubenspindel, welche in *a* und *b* zweierlei Schraubengewinde in der Art hat, daß die Steigung des Gewindes *a* um ein Geringes mehr ist, als die Ganghöhe von *b*. Dienen nun die Platten **CC** und **DD** als Muttern, so ist klar, daß bei einer Drehung, bei welcher beide Platten abwärts sich bewegen müssen, sich diese allmälig nähern, und zwar bei jeder Umdrehung der Spindel um die Differenz der beiden Ganghöhen. Der Lastangriffspunkt macht also bei einer Umdrehung einen Weg gleich dieser Differenz. Ist nun **R** der Halbmesser des von der Kraft durchlaufenen Kreises und **d** die Differenz der beiden Ganghöhen, so hat man

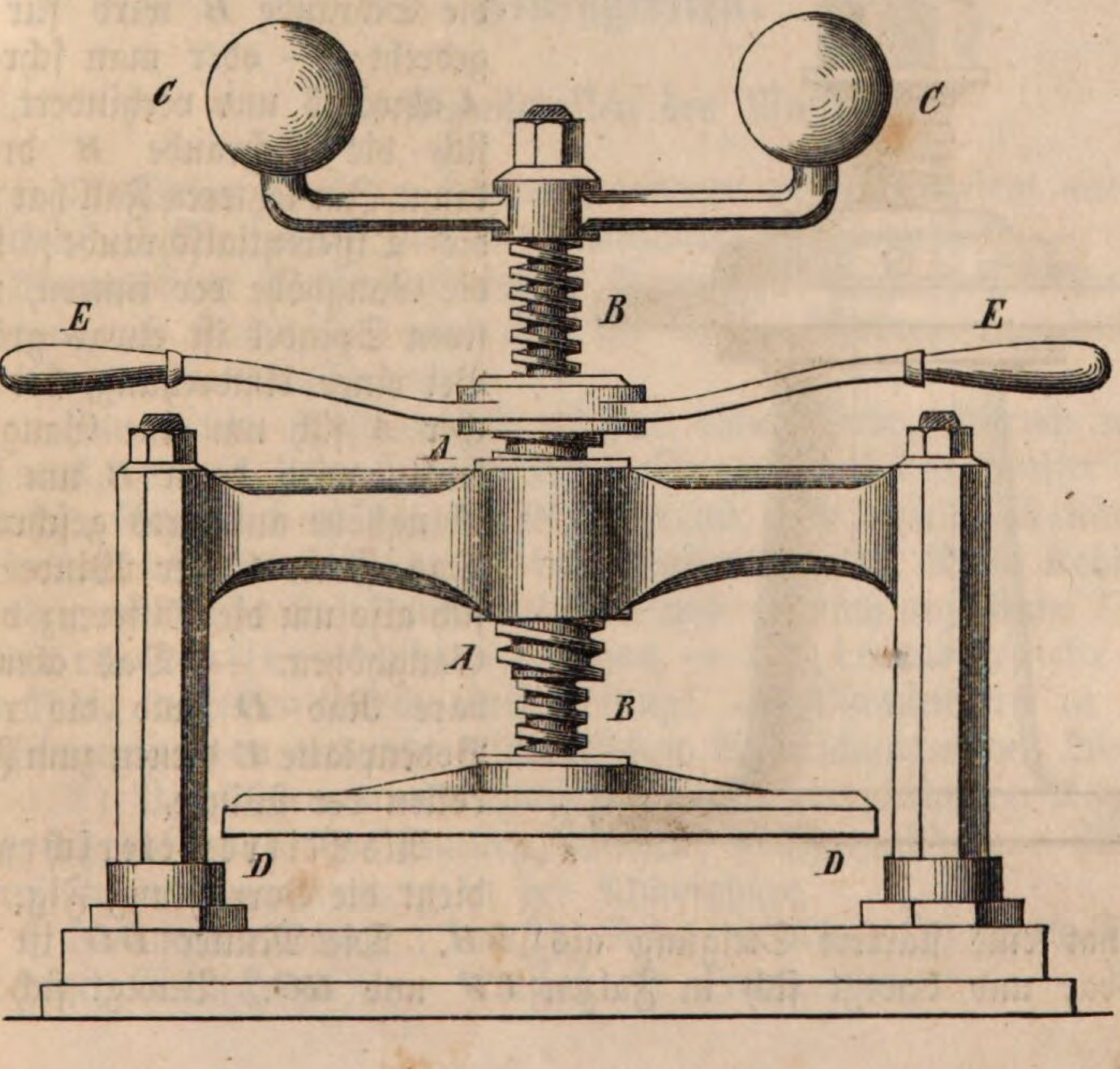
Fig. 162.



$$P = \frac{d}{2 \cdot R \cdot \pi} Q, \text{ und}$$

$$Q = \frac{2 \cdot R \cdot \pi}{d} P.$$

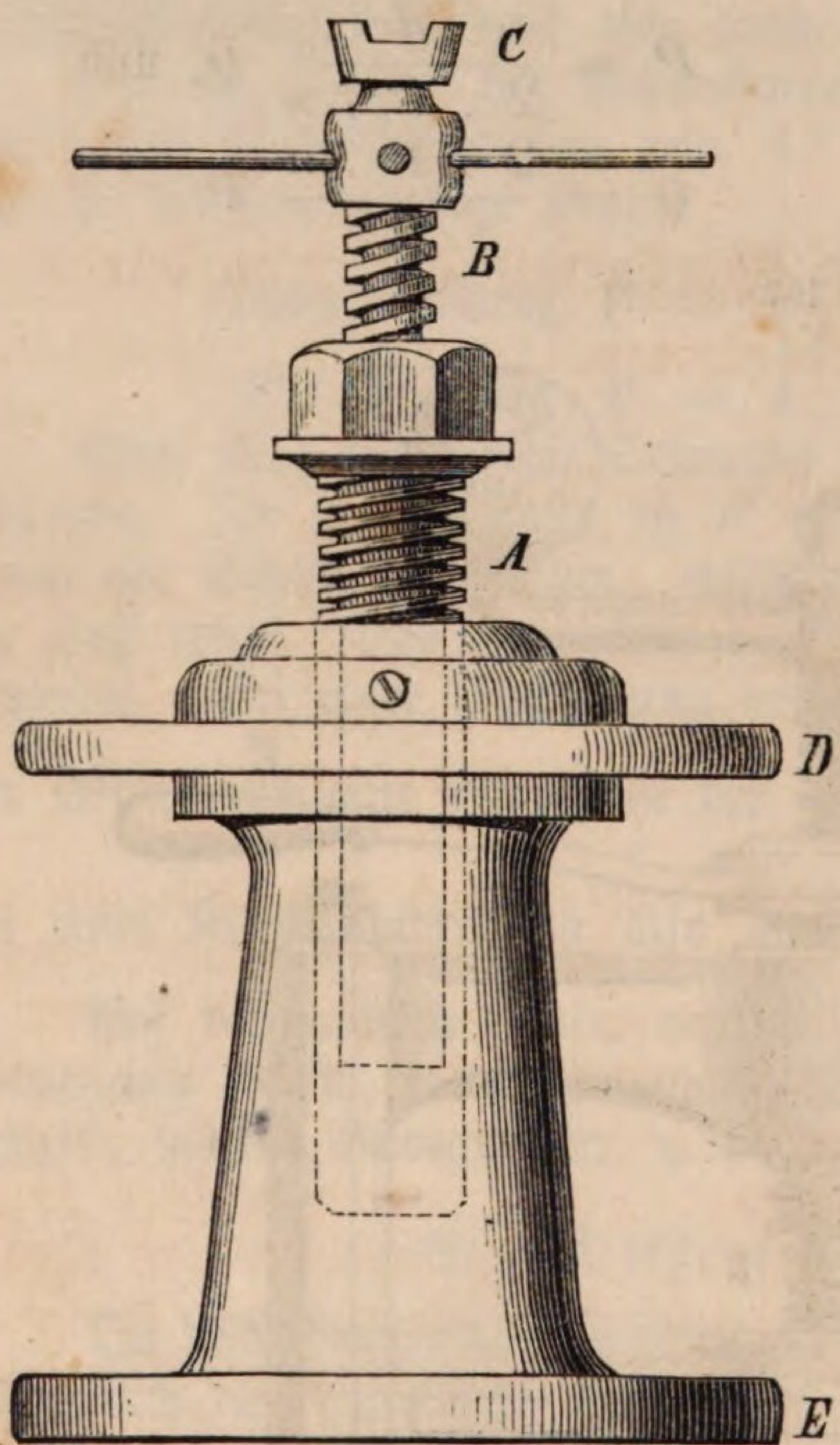
Fig. 163.



Da aber *h* so gering, als möglich gemacht werden kann, so hat man — wie man sieht — eine Maschine von außerordentlicher Leistungsfähigkeit, und zwar sowohl als Kraftmaschine, d. i. Presse, Winde, als auch, und zwar noch mehr, zur Erzeugung außerordentlich geringer Bewegungen, d. i. als sogen. Mikrometerschraube.

Eine Anwendung der Differentialschraube als Presse zeigt Fig. 163. Dort sind zwei Schrauben in der Art angebracht, daß die hohle Spindel ***AA*** mit der größern Steigung als Mutter für die andere Spindel ***BB*** dient. Dreht man vermittelst der Hebel ***EE*** die Spindel ***AA*** abwärts, so wird die Spindel ***BB*** aufwärts geschraubt. Da die Ganghöhe von ***AA*** aber größer ist, als die der Schraube ***BB***, so senkt sich die Preßplatte ***DD*** um die Differenz der Ganghöhen. — Am Anfange der Bewegung arbeitet man des Zeitgewinnes wegen blos mit der Schraube ***BB*** vermittelst der Arme ***CC***, und erst am Ende wendet man die übersetzte Schraube an.

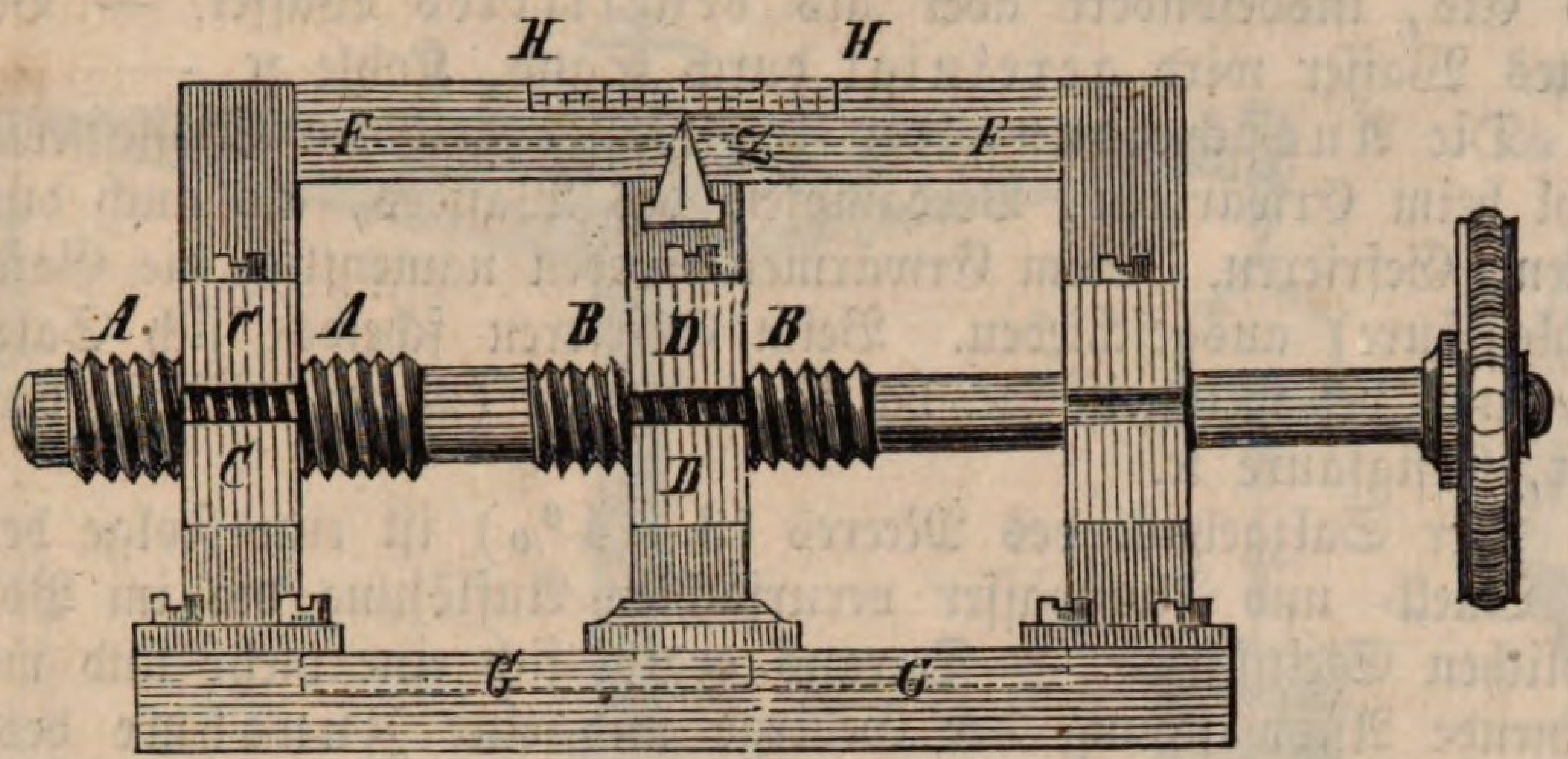
Fig. 164.



Eine Differentialschraubenwinde ist die sogen. Perspectivwinde, Fig. 164. — Wie bei obiger Presse kann hier entweder die Spindel ***A*** in Umdrehung gesetzt werden, so daß sie die dann für sich unthätige Schraube ***B*** mitnimmt; oder die Schraube ***B*** wird für sich gedreht; — oder man schraubt ***A*** abwärts und verhindert, daß sich die Schraube ***B*** drehen kann. Im letzteren Fall hat man die Differentialschraube; denn die Ganghöhe der innern, massiven Spindel ist etwas größer. Bei einer Umdrehung, bei welcher ***A*** sich um eine Ganghöhe senkt, wird dann ***B*** um seine Ganghöhe aufwärts geschraubt. Das Horn ***C*** der Winde hebt sich also um die Differenz beider Ganghöhen. — Das abnehmbare Rad ***D*** und die runde Bodenplatte ***E*** dienen zum Fortrollen der Winde.

Als Mikrometerschraube dient die Vorrichtung Fig. 165. ***AA*** hat eine stärkere Steigung als ***BB***. Die Mutter ***DD*** ist verschiebbar und bewegt sich in Falzen ***FF*** und ***GG***. Bewegt sich nun

Fig. 165.



die Spindel *AA* um eine Ganghöhe nach der einen Seite, so wird *DD* um eine Ganghöhe von *BB* nach entgegengesetzter Richtung verschoben. Die Mutter *DD* und mit ihr der Zeiger *Z* gehen dann in der Richtung der Spindel *AA* um die Differenz der Ganghöhen vor- oder rückwärts.

XI. Eigenschaften und Verhalten der tropfbaren Flüssigkeiten.

A. Eigenschaften des Wassers.

1) Wasser ist kein Element, sondern zusammengesetzt aus 1 Gewichtstheil Wasserstoff und 8 Gewichtstheilen Sauerstoff, — oder aus 2 Raumtheilen Wasserstoff und 1 Raumtheil Sauerstoff. Das Gasgemenge ist Knallgas, und erst bei dessen Verbrennung bilden sich Wasserdämpfe (Wassergas).

Im reinen Zustande ist Wasser ohne Farbe, Geruch und Geschmack, zersetzt sich (fault) nicht. Da gewöhnliches Wasser aber oft Farbe, Geschmack 2c. hat, so folgt daraus, daß dasselbe Mancherlei gelöst hat. Namentlich enthält das Wasser: Salze, Kalk, Kohlensäure, auch gewöhnliche Luft, Ammoniak 2c. und oft auch organische Theile. — Mineralwasser — Gesundbrunnen. — Harte und weiche Wasser. Prüfung derselben durch Seifenlösung! — Pfannenstein in Dampfkesseln entstanden aus den mineralischen Beimischungen des Wassers.

2) Vorkommen des Wassers: Als Niederschläge der Atmosphäre, die sich ansammeln zu Quellen, Bächen, Flüssen, Meer. — Wiederverdunstung und Sammlung in der Atmosphäre.

Formen: Dampf (Dunst), Nebel, Wolken, Thau, Reif, Regen, Schnee, Eis (Hagel). — Einfluß der Temperatur.

3) Reines Wasser wird erhalten als Regenwasser, aus Schnee und Eis, insbesondere aber als destillirtes Wasser. — Verunreinigtes Wasser wird gereinigt durch Sand, Kohle 2c. —

Die Ausscheidung der im Wasser gelösten Stoffe erfolgt sowohl beim Erwärmen, Verdampfen des Wassers, als auch durch Erkalten, Gefrieren. Beim Erwärmen werden namentlich die Gase (Luft, Kohlensäure) ausgeschieden. Beim Gefrieren scheiden sich Salze aus; oder auch bei weingeist- 2c. haltigem Wasser (Wein, Essig), der Weingeist, Essigsäure 2c.

Der Salzgehalt des Meeres (3—4 %) ist eine Folge der durch das Quell- und Flußwasser verursachten Auflösung des im Boden befindlichen Steinsalzes. — Daraus ergibt sich eine mehr und mehr zunehmende Auswaschung der Gebirge und eine Zunahme des Salzgehaltes. — Nothwendige Folgen!! — Im todten Meer Gehalt an verschiedenen Salzen = 24 %.

4) Größte Dichtigkeit des Wassers bei + 4° C. Von da bis 0° dehnt es sich wieder aus. Eis darum leichter als Wasser. Nothwendigkeit dieser Eigenschaft behufs der Existenz der belebten Welt!

Gewicht des reinen Wassers: 1 Cubikmeter = 1000 *Kg.*; oder 1 bad. Cubikfuß = 54 Pfd., 1 preuß. Cubikfuß = 61,8 Pfd., 1 württemb. Cubikfuß = 47 Pfd.*).

Meerwasser ist schwerer, tragt darum auch schwerere Schiffe. Eis leichter. Gewöhnlicher Dampf 1700mal leichter, braucht darum 1700mal mehr Raum, woraus ein Druck in einem abgeschlossenen Gefäß erfolgt. (Dampfmaschinen!)

5) Gewichtsverlust der Körper im Wasser. Jeder Körper verliert im Wasser soviel an seinem Gewichte, als das verdrängte Wasser wiegt. — Ein Körper, der gerade so schwer ist, als ein gleich großer Wasserkörper schwebt im Wasser, denn er übt auf seine Unterlage (Schichte) ganz den gleichen Druck aus, wie ein stellvertretender Wasserkörper. Ein Körper aber, der schwerer (dichter) ist, als Wasser, sinkt, aber nur mit dem Ueberschuß seines Gewichts; hingegen steigt ein leichterer Körper und zwar mit einem Drucke, der gleich ist dem Mehrgewicht des eben so großen Wasserkörpers (Auftrieb).

6) Bestimmung des specifischen Gewichts oder der Dichte. Man versteht unter dem specifischen Gewicht eines Körpers die Zahl, welche angibt, wie vielfach man das Gewicht eines gleich großen Wasserkörpers nehmen muß, um das Gewicht des fraglichen Körpers zu erhalten.

Man erhält darum das specifische Gewicht oder die Dichte, wenn man das wirkliche (absolute) Gewicht eines Körpers durch seinen Gewichtsverlust, d. i. durch das Gewicht des verdrängten Wassers dividirt. (Archimedes!)

---

*) Siehe weiter Anhang.

Fig 166.

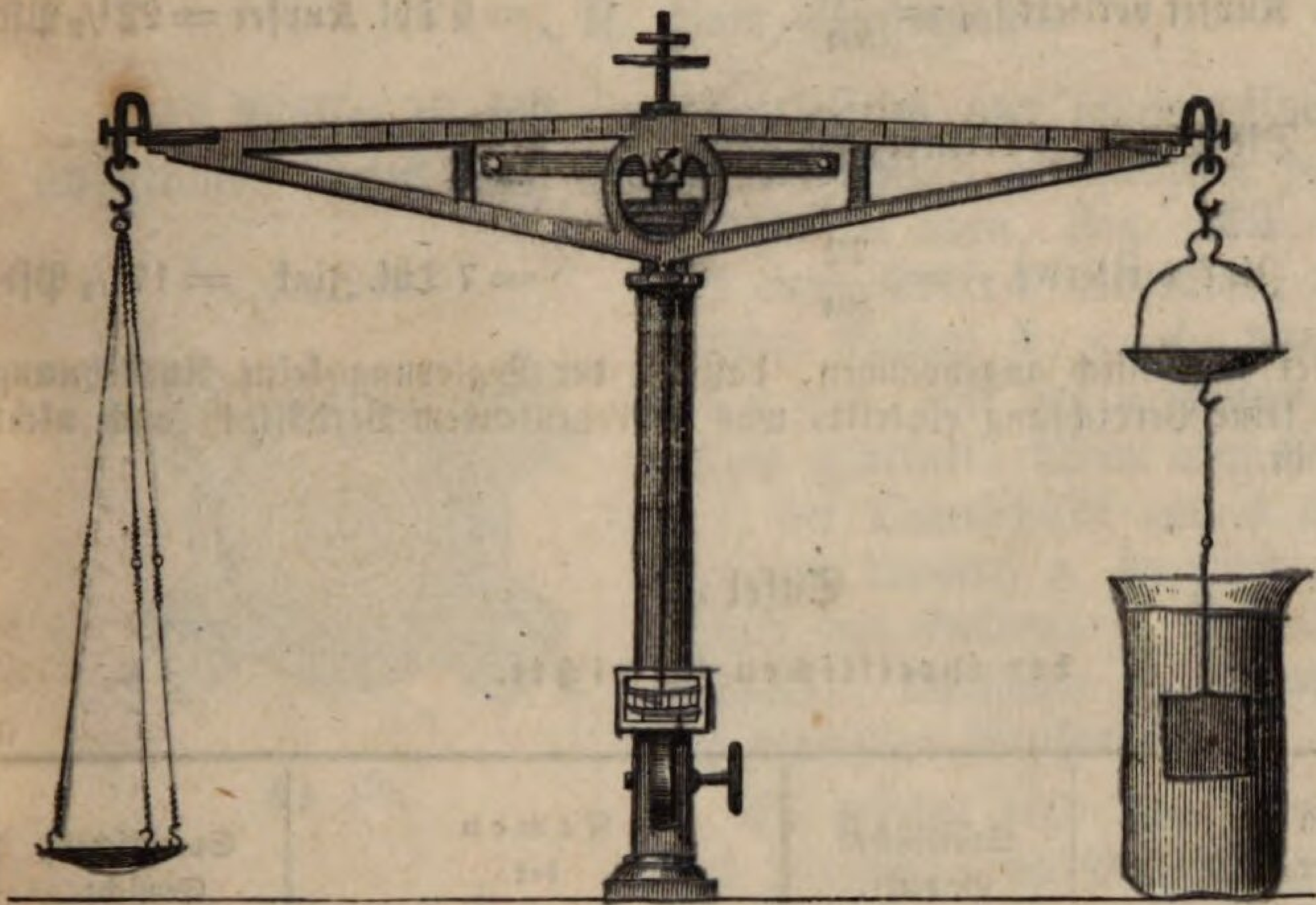


Fig. 167.



Dafür hat man oft besonders eingerichtete Wagen, Senkwagen, Fig. 166 und 167. Da die Körper vollständig eintauchen müssen, so werden darum leichte Körper mit schweren verbunden oder an einer Senkwage befestigt. — Behandlung poröser, körniger und auflösbarer Stoffe. — Bestimmung des specifischen Gewichtes der Flüssigkeiten und Gase durch Wägen eines genau gemessenen, angefüllten Gefäßes und dann Vergleichung mit Wasser (Luft); — bei Gasen auch aus der Zeit des Ausströmens bei bestimmtem Drucke (Dichte dem Quadrate der Ausflußzeit proportional). — Atmosphärische Luft als Einheit. Einfluß der Temperatur!

Fig. 168.



Aräometer oder Senkwagen, Fig. 168, zur Prüfung der Flüssigkeiten. Sinken um so weniger ein, je schwerer eine Flüssigkeit ist. Gewöhnlich wird hiebei von destillirtem Wasser ausgegangen. Dieses gibt darum den Nullpunkt (Anfangspunkt) an. Also für schwerere Flüssigkeiten ist der Nullpunkt oben, für leichtere unten.

Bier-, Most-, Wein-, Salzwagen ꝛc. Aräometer für Milch, Säuren, Laugen ꝛc. — Universal- und Procentaräometer.

Schwerer als Wasser sind: Laugen, gewöhnliche Säuren, Salzsoole, Most, Bier, Malaga, Milch ꝛc. — leichter ist: Spiritus, Branntwein, ausgegohrene Weine, Oele ꝛc.

Anwendung des spec. Gewichts zu Gewichts- und Gehaltsbestimmungen, Untersuchung von Mischungen.

Beispiel. Eine 40 Pfd. schwere Masse aus Kupfer und Zink verliere im Wasser 5 Pfd., d. i. 1/8 ihres Gewichts; wie viel ist von jedem Metall darunter, wenn Kupfer im Wasser 1/9 und Zink 1/7 verliert?

Auflösung. Kupfer verliert $^1/_9 = \frac{56}{504}$ $= 9$ Thl. Kupfer $= 22^1/_2$ Pfd.

Die Mischung verliert $^1/_8 = \frac{63}{504}$

Zink verliert $^1/_7 = \frac{72}{504}$ $= 7$ Thl. Zink $= 17^1/_2$ Pfd.

Hiebei ist freilich angenommen, daß bei der Legierung keine Ausdehnung und auch keine Verdichtung eintritt, was in bedeutendem Verhältniß auch nicht der Fall ist.

Tafel

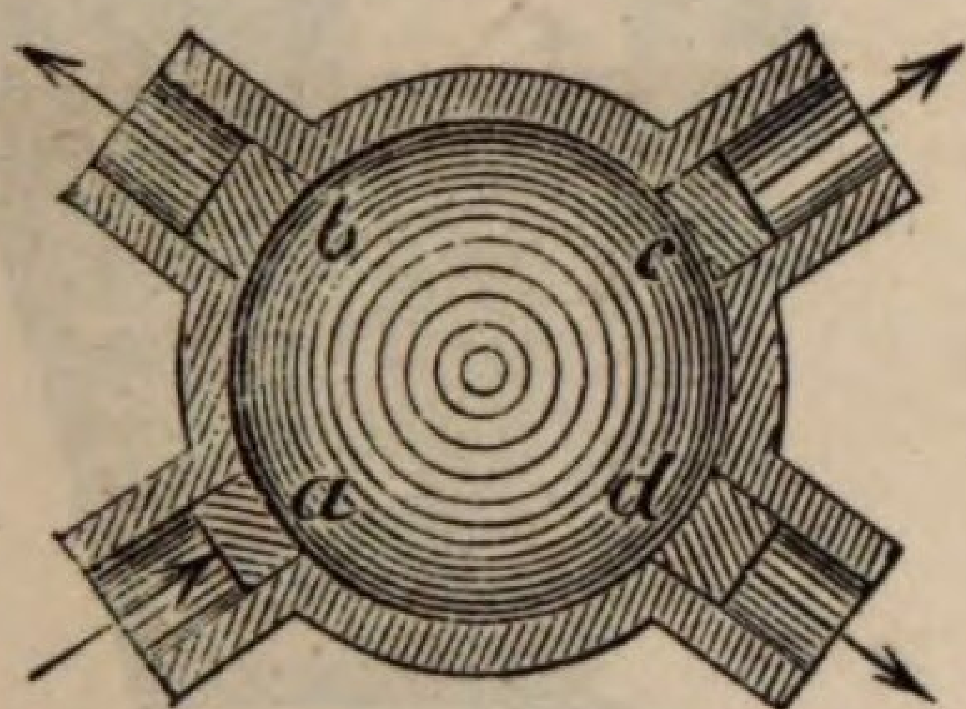
der specifischen Gewichte.

Namen der Körper.	Specifisches Gewicht.	Namen der Körper.	Specifisches Gewicht.
	a. Flüssige Körper.		
Wasser	1	Seewasser	1,027
Aether	0,7	Madeira	1,038
Alkohol	0,79	Salzsäure	1,2
Terpentinöl	0,87	Salpetersäure	1,5
Baumöl	0,9	Schwefelsäure	1,9
Burgunder	0,99	Quecksilber	13,6
	b. Feste Körper.		
Zink, gegossen	7,05	Mauerwerk v. Bruchstein	2,46
„ gewalzt	7,54	Trockene magere Erde	1,34
Zinn, gegossen	7,29	Frische Gartenerde	2,05
„ gewalzt	7,48	Festgestampfte lehm. Erde	2,06
Gußeisen	7,2	Glas, grünes	2,64
Schmiedeisen	7,6 bis 7,8	„ weißes	2,94
Stahl	7,8	Kork	0,24
Gußstahl	7,9	Lärche, trocken	0,56
Messing	8,15 bis 8,55	Linde, „	0,58
Kupfer, gegossen	8,79	Tanne und Fichte	0,5 bis 0,6
„ geschmiedet	9	dto. durchnäßt	0,8
Silber	10,5	Föhre, trocken	0,76
Blei	11,35	Nußbaum „	0,68
Gold	19,3	Birnbaum „	0,69
Platina	22,67	Ahorn „	0,7
Ziegelstein	1,40 bis 2,22	Birke „	0,74
Sandstein	1,90 bis 2,70	Weißbuche „	0,75
Kalkstein	2,40 bis 2,86	Rothbuche „	0,77
Marmor	2,8	Mahagoni „	0,8 bis 1,0
Granit	2,5 bis 3,0	Eiche „	0,8 bis 1,0
Mauerwerk v. Ziegelstein	1,55 bis 1,70	Durchnäßtes Laubholz	1,11
„ „ Sandstein	2,12	Guajak (Pockholz)	1,3

B. Vom Wasserdruck.

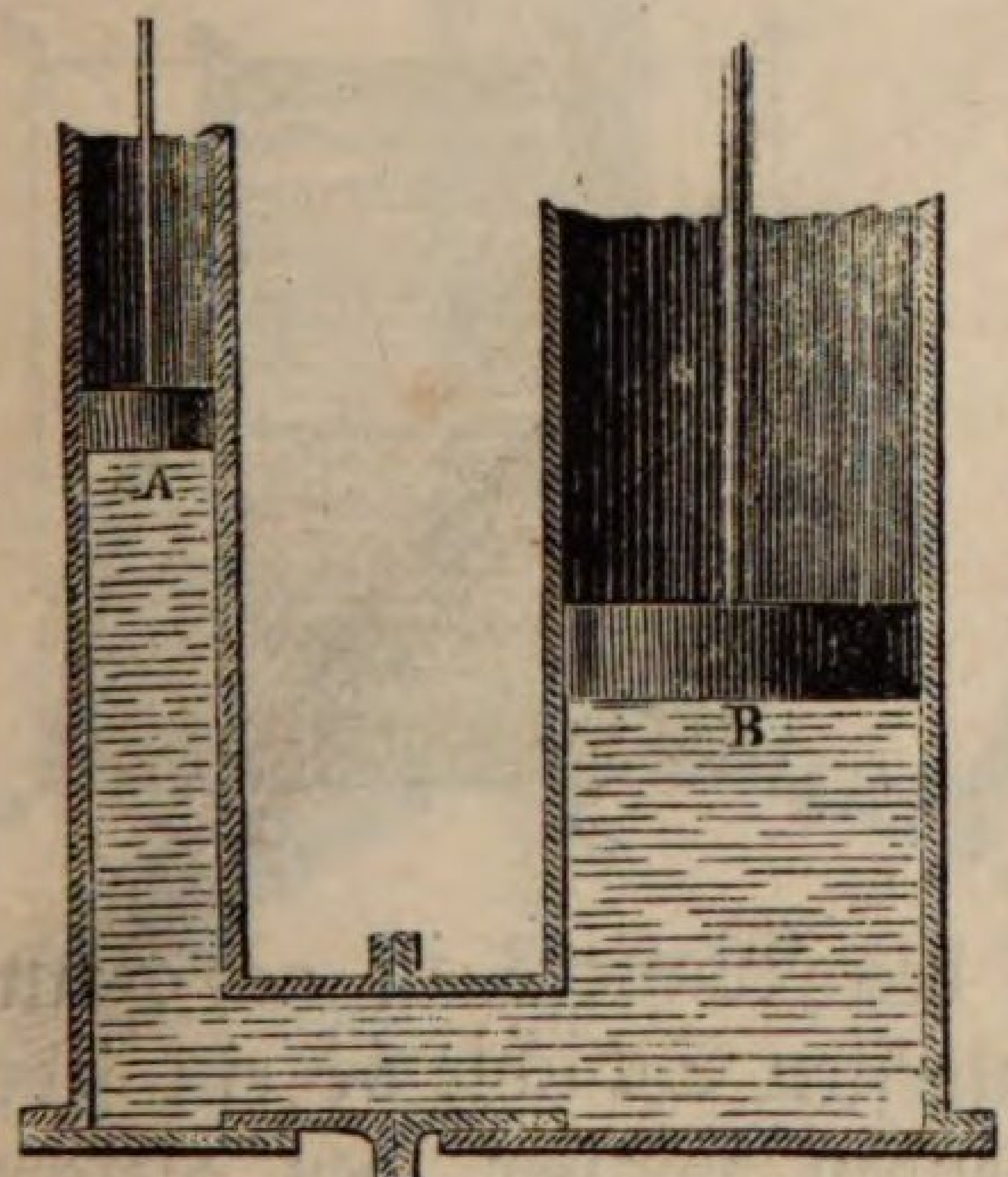
1) Wasser ist fast ganz unelastisch und pflanzt einen auf dasselbe ausgeübten Druck nach allen Richtungen gleichmäßig fort.

Fig. 169.



Drückt man, Fig. 169, den Kolben *a* mit einer Kraft *P* einwärts, so werden alle andern Kolben *b*, *c*, *d*, wenn sie so groß als *a* sind, mit der nämlichen Kraft *P* auswärts gedrückt. Wäre aber die Kolbenfläche, d. i. der Querschnitt von *b* oder *c* ꝛc. doppelt oder dreimal ꝛc. so groß, als der Querschnitt des Kolbens *a*, so würde auch ein doppelter, dreifacher ꝛc. Druck nach außen auf denselben stattfinden.

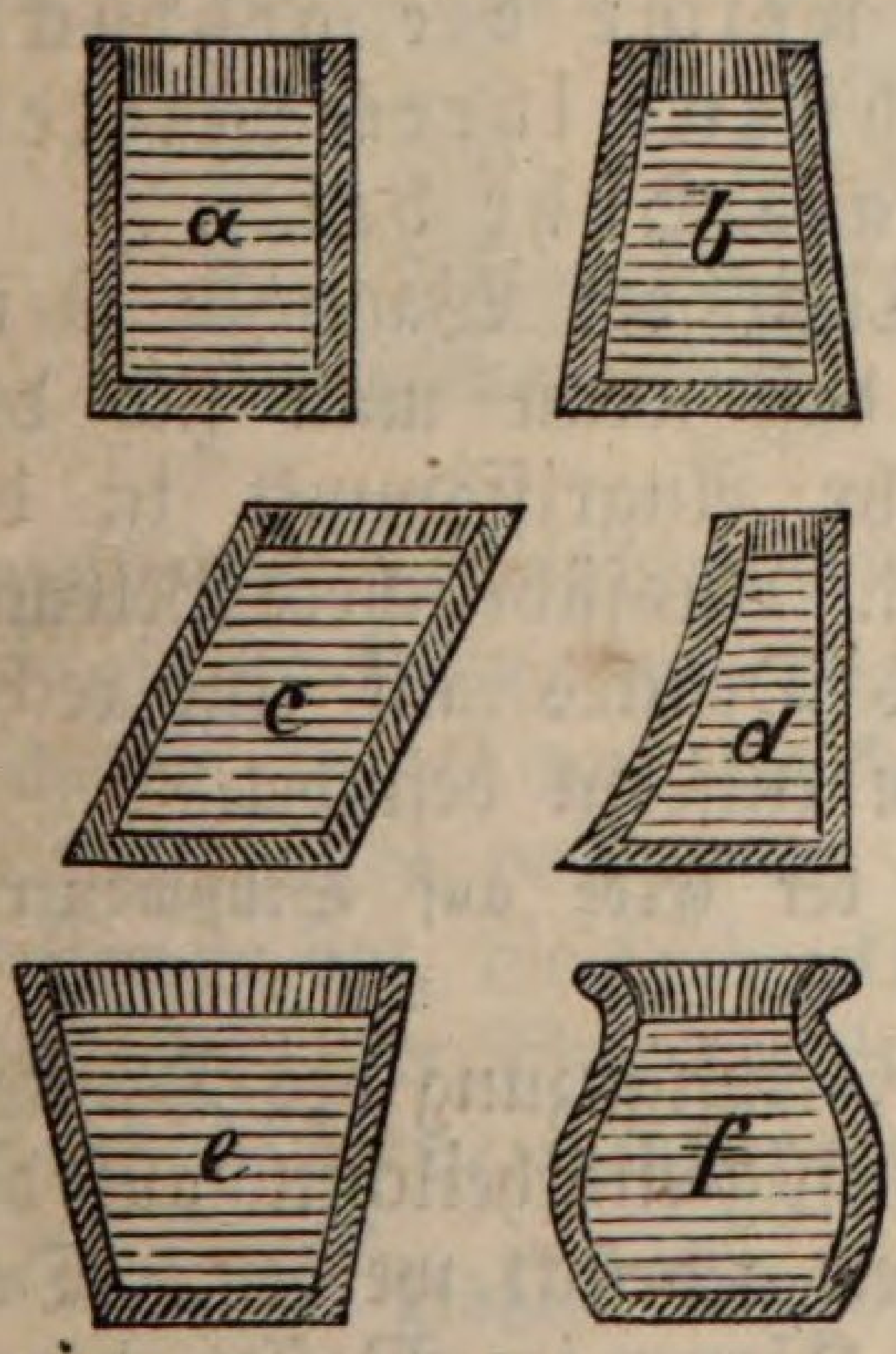
Fig. 170.



Es erfolgt also eine Vervielfachung des Druckes im Verhältniß der drückenden Fläche zu der gedrückten. Der Kolben *B*, Fig. 170, erleidet auf seiner Unterfläche einen sovielmal stärkern Druck, als der Druck des Kolbens *A* beträgt, sovielmal die Kolbenfläche von *A* in dem Querschnitt des Kolbens *B* enthalten ist.

2) Aus der allseitigen Fortpflanzung eines mittelst und durch eine Flüssigkeit ausgeübten Druckes ergiebt sich, daß Flüssigkeiten nicht nur einen Druck auf den Boden, sondern auch auf die Seitenwand eines Gefäßes ausüben, und daß selbst ein Druck nach oben, d. i. ein sogen. Auftrieb stattfindet.

Fig. 171.



3) Der Bodendruck, wie der Seitendruck in einem Flüssigkeitsbehälter ist nur abhängig von der Größe der gedrückten Fläche und der Höhe des Wasserstandes.

Gefäße *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, Fig. 171, die alle gleich großen Boden und gleiche Höhe haben, erleiden alle den gleichen Bodendruck, wenn sie mit der nämlichen Flüssigkeit angefüllt sind, und zwar ist der Bodendruck gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche den Boden des Gefäßes als Grundfläche und den Abstand desselben von der Oberfläche (dem Wasserspiegel) zur Höhe hat.

Man überzeugt sich hievon durch eine Vorrichtung, wie Fig. 172, bei welcher die Gefäße *a, b, c, d*, die gleichen Boden und gleiche Höhen haben, alle aufgeschraubt werden können. Der Boden wird durch ein Ventil gebildet, das durch das Gewicht in der Wagschale angedrückt wird. — Man sieht aber auch ein, daß in Fig. 173 der Druck einer

Fig. 172.

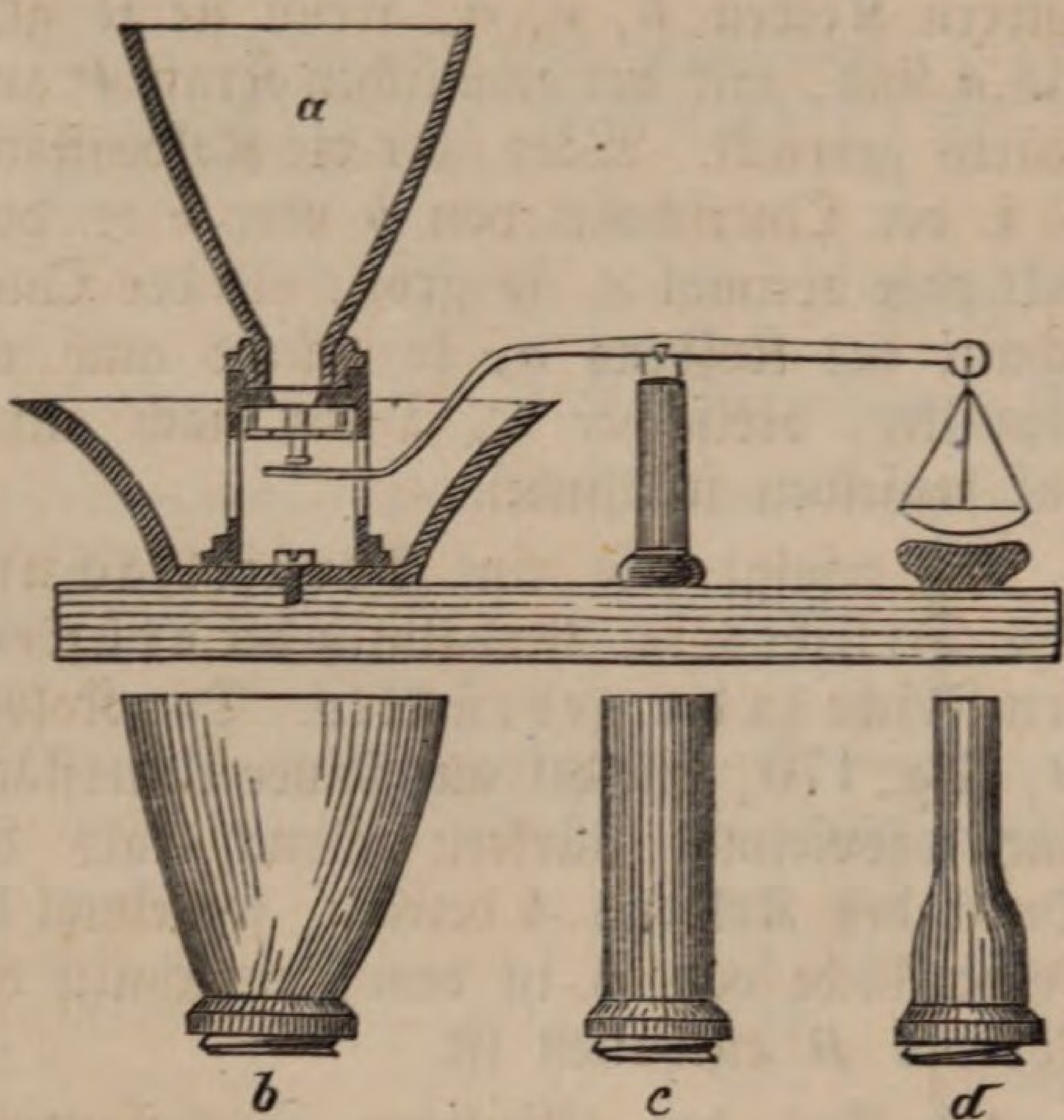


Fig. 173.

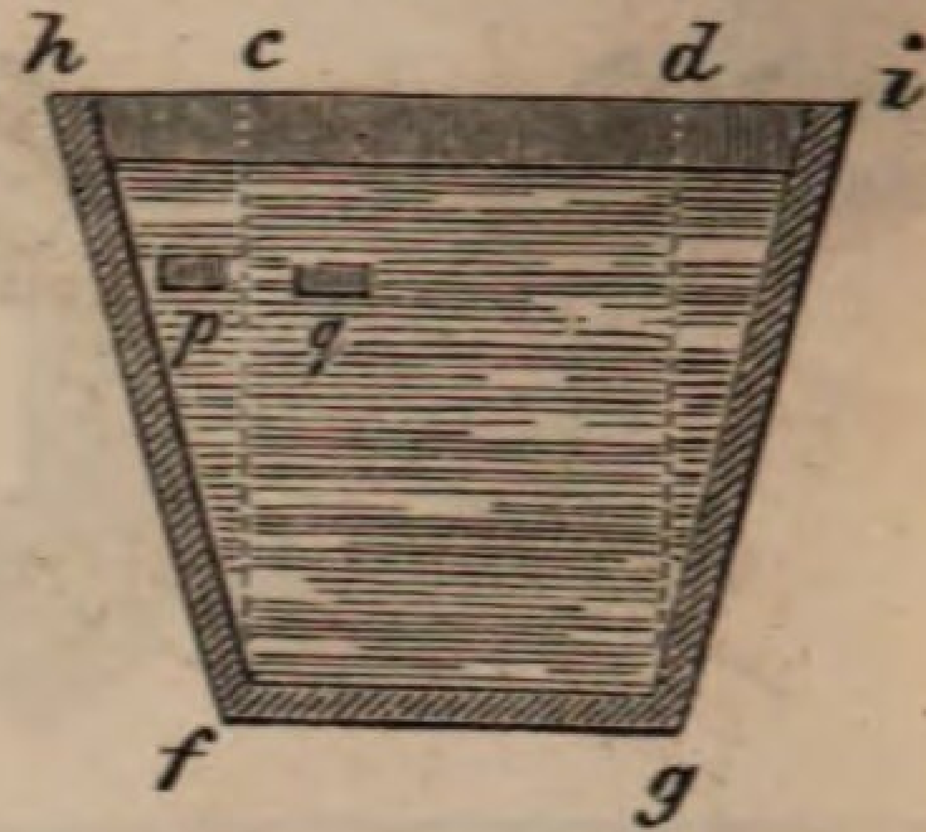
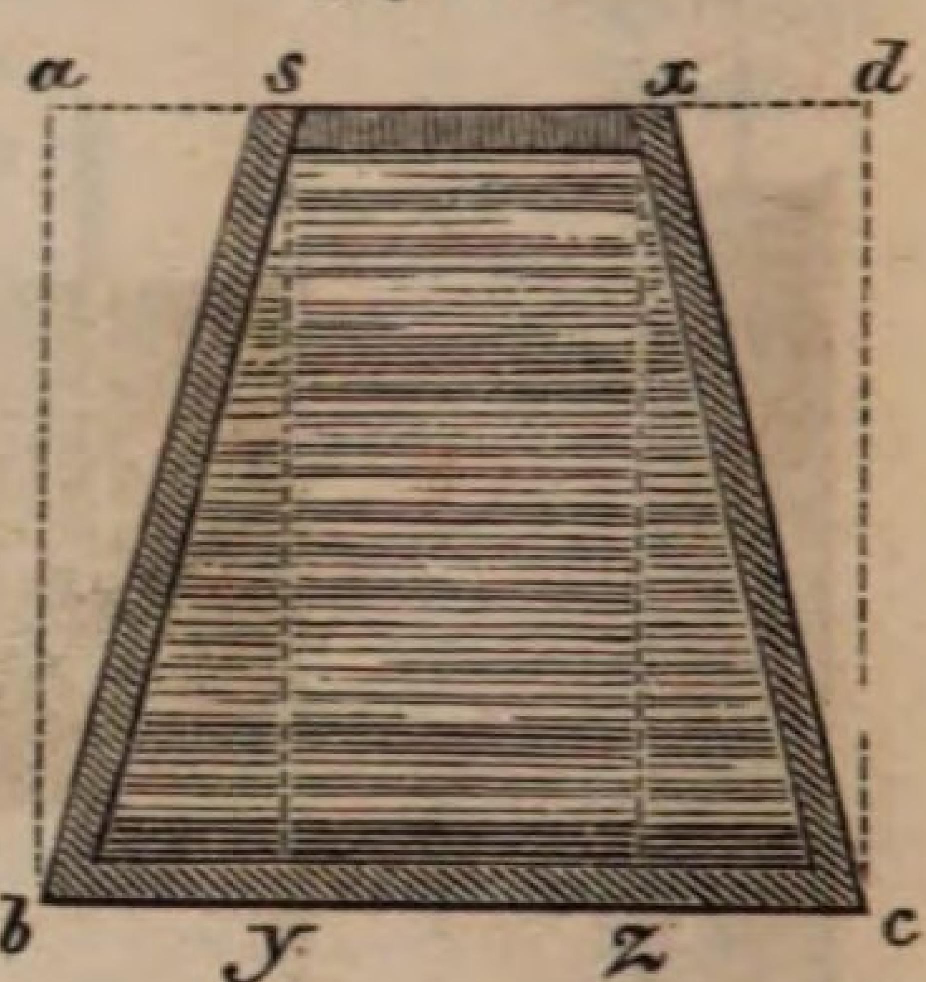


Fig. 174.



Wassersäule in *hcf* durch den Gegendruck des Wassers in *cdfg* aufgehoben wird, während Fig. 174 in der untersten Schichte *bc* ein jedes Flüssigkeitstheilchen von dem darüber stehenden Wasser den gleichen Druck, der nur von der Höhe *ab* abhängig ist, empfängt.

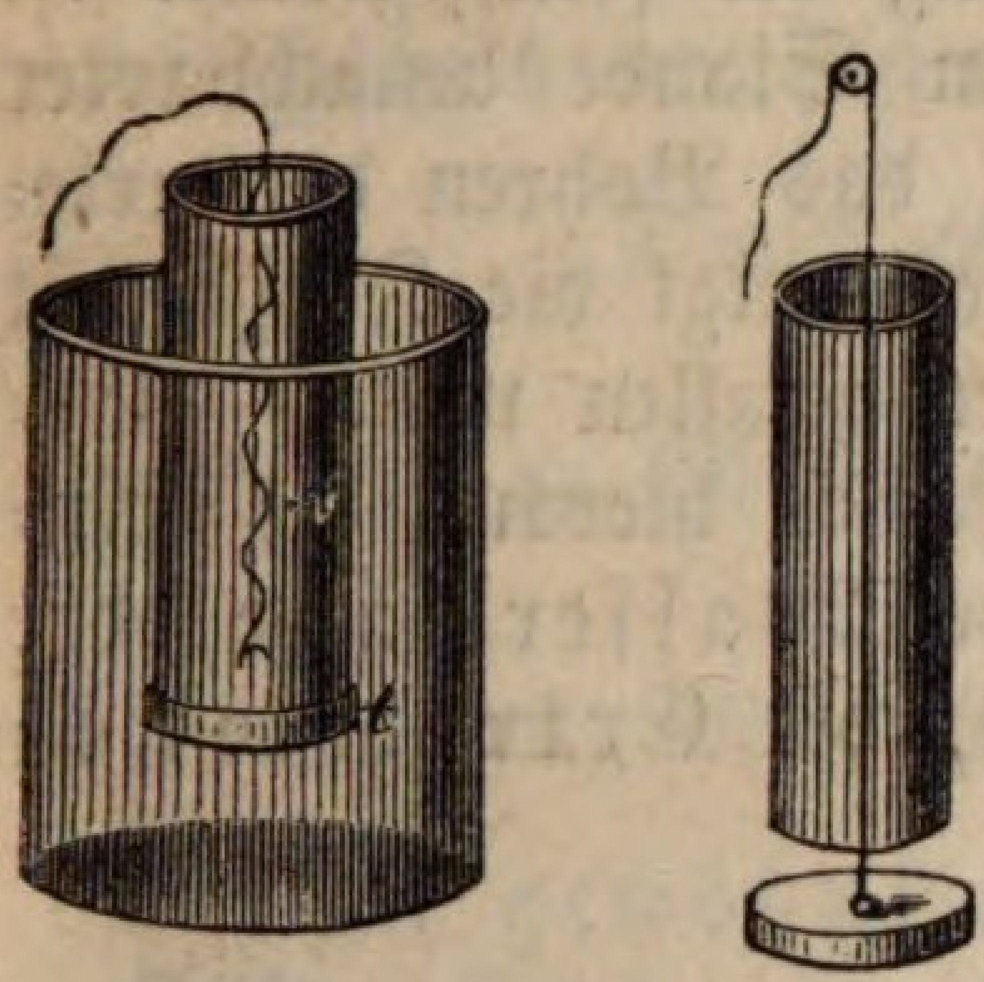
4) Der Seitendruck auf eine vertikale Wand ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die gedrückte Fläche als Grundfläche und den Abstand ihres Mittel- (Schwer-) punkts vom Wasserspiegel als Höhe hat.

Da der Seitendruck auf den obersten Theil der Wand = 0 ist und mit der Tiefe wächst, so ist natürlich, daß wenn man sich den Seitendruck als eine einzige Kraft denkt, ihr Angriffspunkt in die untere Hälfte der Wandfläche zu liegen kommt. Ausführlichere Betrachtungen zeigen, daß sich dieser Mittelpunkt des Druckes auf eine rechteckige Wand 1/3 der ganzen Höhe vom Boden entfernt befindet.

Wirkung des Seitendruckes des Wassers und der Erde auf Stützmauern, Dämme, Röhrenleitungen 2c.

5) Auftrieb des Wassers. Da die Fortpflanzung des Druckes eine allseitige ist, so drücken die untern Flüssigkeitstheilchen auf die obern gerade so stark, als die untern von oben gedrückt werden. Darum erfolgt das Steigen (Schwimmen) solcher Körper im Wasser, deren

Fig. 175.

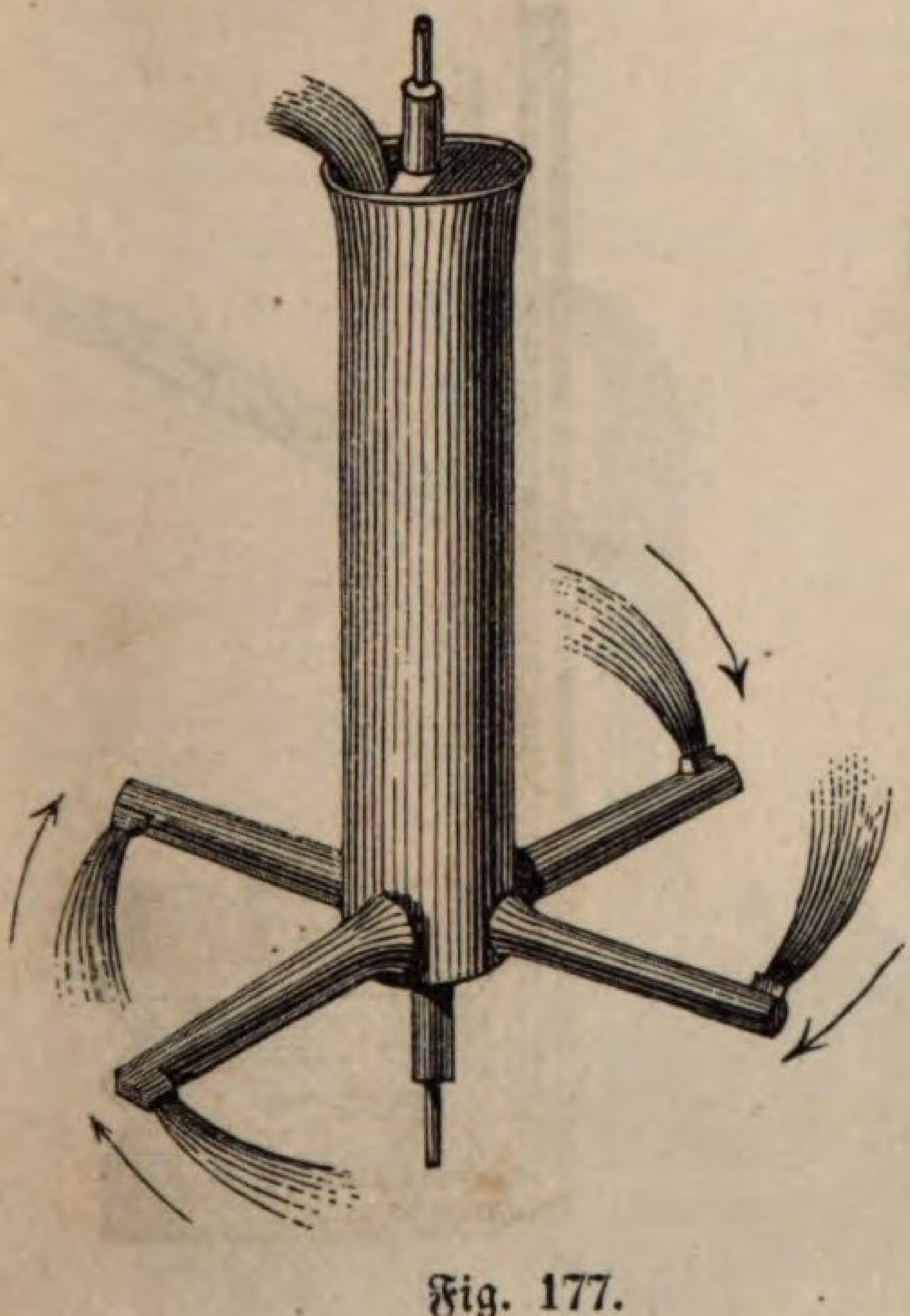


Dichte geringer ist, als die des Wassers. Ebenso erwächst hieraus der große Druck auf den Boden der Schiffe. — Verschlossene leere Flaschen, die man versenkt! —

Beweis des Auftriebs durch die Vorrichtung Fig. 175. In einer gewissen Tiefe wird das an der Schnur befindliche Plättchen so angedrückt, daß es nicht mehr fällt.

6) Reaction der Flüssigkeiten. Ist ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß so gestützt, daß es bei der geringsten Störung des Gleichgewichts eine Bewegung machen oder umfallen muß und es ist auf einer Seite eine Oeffnung angebracht, durch welche man der Flüssigkeit den Ausfluß gestatten kann, so wird das Gefäß eine Bewegung nach der entgegengesetzten Seite machen, wenn man den einseitigen Abfluß gestattet. — Es findet dann auf der entgegengesetzten Seite eine Ueberwucht des Druckes statt, da die dem Drucke ausgesetzte Wandfläche um den Querschnitt der Mündung größer ist. — Segner'sches Wasserrad, Fig. 176. — Reactionsturbine (s. unten).

Fig. 176.



7) Communicirende Gefäße. In solchen, Fig. 177, nimmt eine und

Fig. 177.

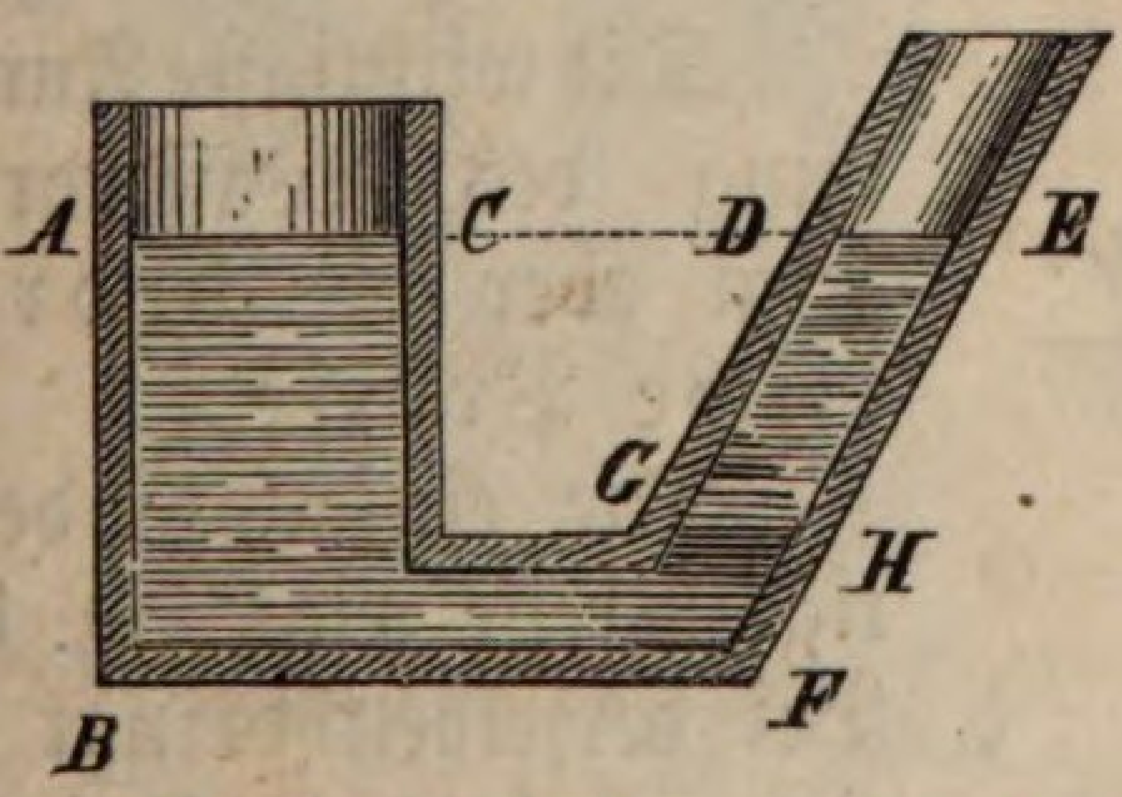
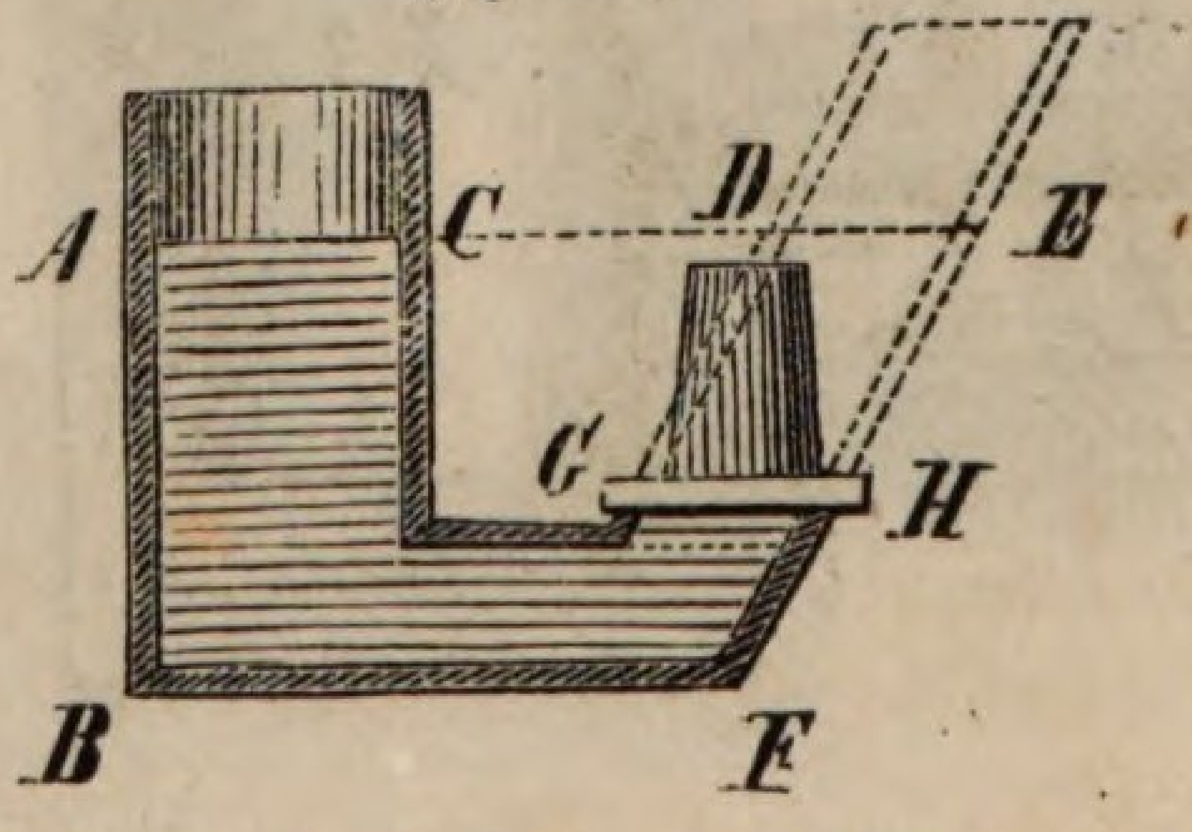


Fig. 178.



dieselbe Flüssigkeit in dem einen Schenkel, wie in dem andern, immer die gleiche Höhe an, sie stellt sich in's Niveau. Ist der eine Schenkel kürzer und durch einen Deckel ***GH***, Fig. 178, geschlossen, so erleidet dieser von unten einen Druck; und zwar, da das Wasser das Bestreben hat, die Höhe ***AE*** zu erreichen, so ist dieser Druck gleich dem Gewichte einer Wassersäule ***DGHE***, d. i. immer gleich dem Gewichte der fehlenden Wassersäule*).

*) Bei größern Ausdehnungen, Seen, Meeren kann man die Oberfläche des

8) Eine Folge der eben genannten Wirkung der Flüssigkeiten ist das Erscheinen der Horizontalwasser bei hohem Stande benachbarter Flüsse; sodann das Zutagetreten der Quellen; das Bohren der artesischen Brunnen, die Springbrunnen ꝛc. Ueberall zeigt die Flüssigkeit das Bestreben, so hoch zu steigen, als sie vorher gefallen war. — Erklärung mancher Erdfälle. — Sodann gründen sich hierauf die Einrichtungen mancher Lampen, die Nivellir- oder Wasserwage, der sogen. hydrostatische Blasebalg, Fig. 179, die Extractionspresse ꝛc.

Fig. 180.

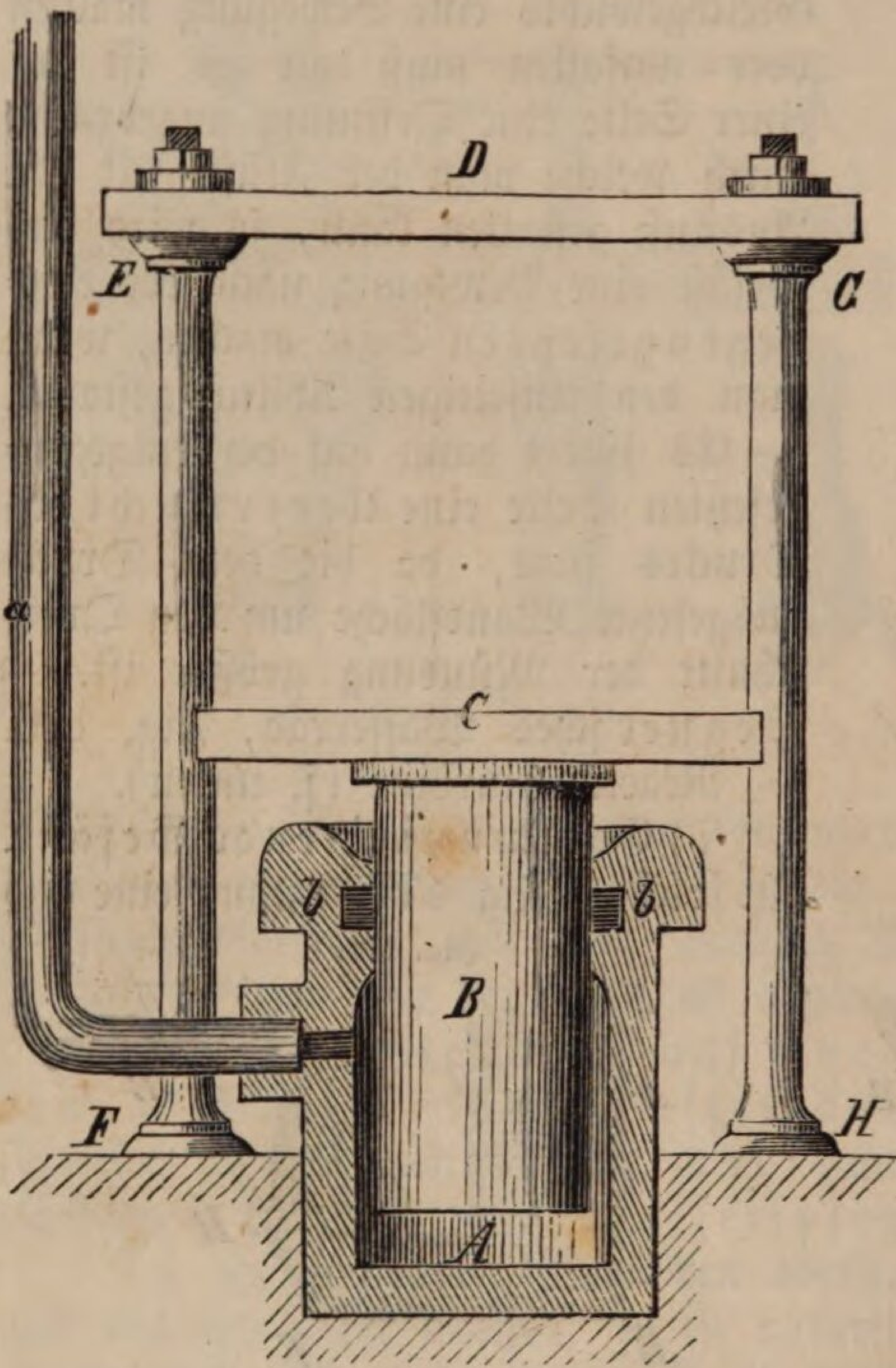
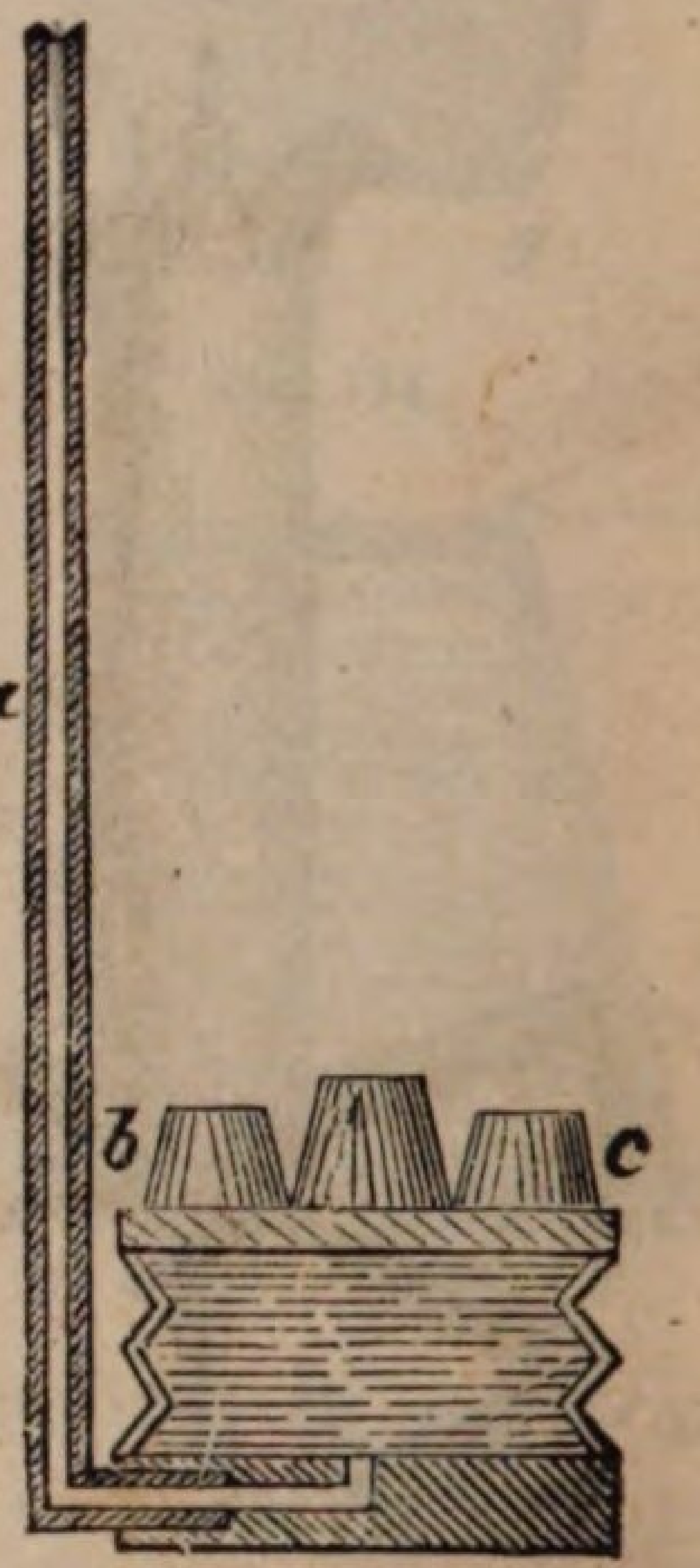


Fig. 179.



Die wichtigste Anwendung des Wasserdrucks zeigt aber die hydraulische Presse.

Die einfachste derartige Presse zeigt Fig. 180. Bei derselben dringt aus einer hohen Zuflußröhre *a* Wasser in einen weiten Cylinder, den Stiefel *A*, welcher einen Kolben *B* enthält. *C* und *D* sind Preßplatten; *bb* ist eine sogen. Stopfbüchse, mit der Kolbenliederung, die das Entweichen des Wassers verhindert. — Nach vorigem Absatz ist der Druck auf den Kolben *B* gleich dem Gewichte

---

Wassers nicht mehr als horizontal ansehen, sondern es zeigt dort die Oberfläche die Kugelform der Erde.

der fehlenden Wassersäule, also wenn der Durchmesser d des Kolbens und die Höhe h der fehlenden Wassersäule in Meter, ausgedrückt werden,

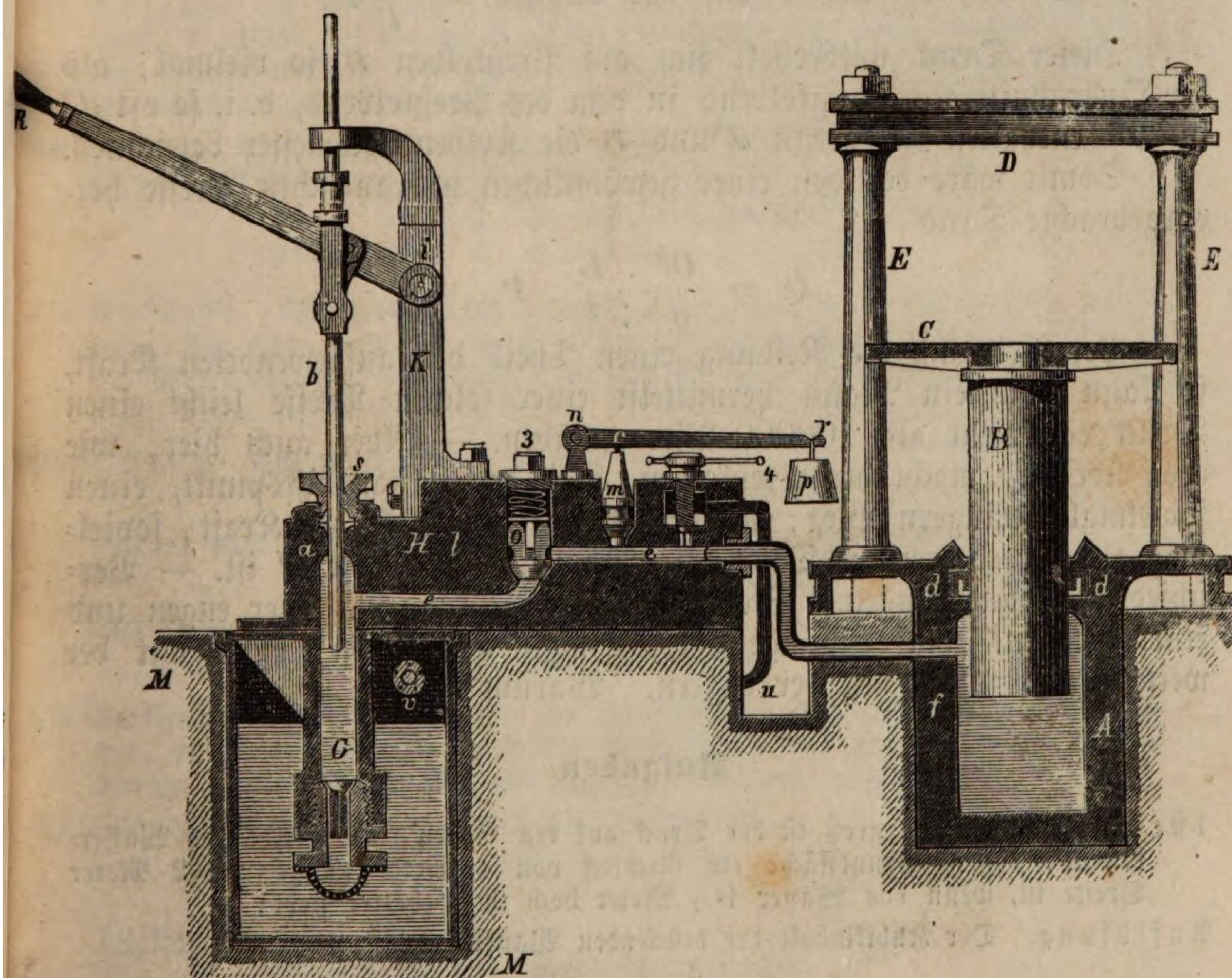
$$\text{Druck } Q = 1000 \frac{\pi \cdot d^2}{4} h \ Kg.$$

$$\text{oder in bad. Maß } Q = 54 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \text{ Pfd.}$$

$$\text{in württ. Maß } Q = 47 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \text{ Pfd.*)}$$

9) Die gewöhnliche hydraulische Presse ist durch Fig. 181 dargestellt. Dort wird durch eine Saugpumpe *G* (vergl. den folgenden

Fig. 181.



Abschnitt) Wasser eingesaugt und beim Abwärtsgehen des Saugkolbens *b* durch die Röhre *ee* in den Stiefel *fA* gepreßt. Das Saugventil bei *G* hebt sich beim Aufwärtsgehen des dünnen Kolbens *b*, das Ventil 3 aber, das durch eine Feder zugedrückt wird, wird durch das Wasser gehoben, wenn *b* abwärts geht. *m* ist ein sogen. Sicher=

*) Vergl. Tafel im Anhang.

heitsventil (s. u. Dampfmaschinen), das durch ein Gewicht p, das am Hebel nr hängt, zugedrückt wird, bei zu hohem Druck in der Röhre ee aber sich hebt, so, daß das Wasser ausfließen kann. Durch Drehen des Hebels 4 öffnet man eine Röhre uv, die nach vollendeter Wirkung das Wasser wieder in den Behälter MM zurückführt. — s ist eine Stopfbüchse, dd sind Kolbenliederungen und C und D sind die Preßplatten.

An dieser Presse arbeitet an einem einarmigen Hebel RJ die Triebkraft P.

Ist nun $RJ = L$, und die Entfernung des Aufhängepunktes des Saugkolbens b vom Drehpunkt J des Hebels $= l$, so ist nach Früherm der Druck des Kolbens b auf das Wasser $= \frac{L}{l} P$.

Dieser Druck wiederholt sich am Preßkolben B so vielmal, als der Querschnitt des Saugkolbens in dem des Preßkolbens, d. i. so oft d^2 in D^2 enthalten ist, wenn d und D die Kolbendurchmesser bezeichnen.

Somit wäre der von einer gewöhnlichen hydraulischen Presse hervorgebrachte Druck

$$Q = \frac{D^2 \,.\, L}{d^2 \,.\, l} \,.\, P.$$

Verzehrt auch die Reibung einen Theil der aufgewendeten Kraft, so kann doch ein Mann vermittelst einer solchen Presse leicht einen Druck von mehr als 100000 Pfd. ausüben. — Aber auch hier, wie eben überall, macht der Preßkolben, d. i. der Lastangriffspunkt, einen sovielmal geringern Weg, als der Angriffspunkt R der Kraft, sovielmal als der theoretische Druck Q größer als die Kraft P ist. — Verschiedene Abänderungen. Pressen mit zwei Pumpen, einer engen und einer weitern. Am Anfange arbeitet man mit beiden, dann mit der weitern und zuletzt mit der engern. Warum? —

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Wie groß ist der Druck auf den Boden eines viereckigen Wasserkastens, dessen Grundfläche ein Rechteck von 4 Meter Länge und 2 Meter Breite ist, wenn das Wasser $1\frac{1}{2}$ Meter hoch im Behälter steht?

Auflösung. Der Kubikinhalt der drückenden Wassersäule ist

$$= 4 \,.\, 2 \,.\, \frac{3}{2} = 12 \text{ Kubikmeter;}$$

folglich deren Gewicht oder der Bodendruck

$$= 12 \,.\, 1000 = 12000 \; Kg.$$

2te Aufgabe. Vor einem 6′ bad. breiten, 4′ hohen und $2\frac{1}{2}''$ dicken Schutzbrett aus Eichenholz steht das Wasser $2\frac{3}{4}'$ hoch; welche Kraft ist zum Aufziehen des Brettes nöthig?

Auflösung. Der beim Aufziehen des Brettes zu überwindende Widerstand besteht aus dem Gewichte des Brettes und der aus dem Seitendruck des Wassers sich ergebenden Reibung des Brettes in dessen Führung.

Der Kubikinhalt des Brettes ist $= 6 \,.\, 4 \,.\, 0{,}25 = 6$ Cubikfuß.

Nimmt man das specifische Gewicht des mit Wasser gesättigten Eichenholzes zu 1,11 an, so erhält man das Gewicht des Schutzbrettes *G*

$$= 6 \cdot 54 \cdot 1{,}11 = 359{,}64 \text{ Pfd.}$$

Der Druck des Wassers gegen das Schutzbrett ist

$$= 6 \cdot \frac{11}{4} \cdot \frac{11}{8} \cdot 54 = 1225 \text{ Pfd.}$$

Dies ist zugleich der Druck des Brettes gegen seine Führung.

Wird der Reibungscoefficient für nasses Holz, das aus dem Ruhezustand in Bewegung versetzt wird, zu 0,68 angenommen, so beträgt die Reibung des Brettes $R = 0{,}68 \cdot 1225 = 833$ Pfund.

Somit ist die nöthige Kraft zum Aufziehen

$$P = G + R = 359{,}64 + 833 = 1192{,}64 \text{ Pfd. bad.}$$

3te Aufgabe. In einem Schleußenthore befindet sich ein Schieber, dessen Flächeninhalt 3 preuß. □′ ist; wie stark ist der Wasserdruck gegen denselben, wenn der Wasserstand vor dem Thore 10′ hoch ist und wenn der Mittelpunkt des Schiebers 4′ vom Boden absteht?

Auflösung. Die in Rechnung zu bringende Druckhöhe ist $10 - 4 = 6$, und daher der Druck gegen den Schieber

$$P = 3 \cdot 6 \cdot 66 = 1188 \text{ Pfd. (alt),}$$

oder $$P = 3 \cdot 6 \cdot 61{,}8 = 1112 \text{ Zollpfd.}$$

4te Aufgabe. Wie groß ist der vom Wasser in einem s. g. hydrostatischen Blasebalg, Fig. 179, ausgeübte Druck, wenn die vom Wasser benetzte Fläche *bc* 0,5 Meter lang und 0,4 Meter breit ist, und wenn das Wasser in der Zuflußröhre *a* um 10 Meter höher steht?

Auflösung. Der Flächeninhalt der Platte ist

$$= 0{,}5 \cdot 0{,}4 = 0{,}2 \text{ □Meter;}$$

folglich nach Satz 7 der Cubikinhalt der drückenden Wassersäule

$$= 0{,}2 \cdot 10 = 2 \text{ Cubikmeter;}$$

und daher das Gewicht derselben oder der Druck auf die Platte

$$= 2 \cdot 1000 = 2000 \; Kg.$$

5te Aufgabe. Wenn in Fig. 180 der Preßkolben einen Durchmesser von 1,6′ bad. hat, und wenn der Unterschied des Wasserstandes der beiden Röhren 40 Fuß beträgt, welcher Druck wird von dem Preßkolben *B* ausgeübt?

Auflösung. Cubikinhalt der drückenden Wassersäule

$$= \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{1{,}6^2 \cdot 3{,}14 \cdot 40}{4} = 80{,}38 \text{ Cubikfuß;}$$

folglich Druck des Kolbens

$$= 54 \cdot 80{,}38 = 4340 \text{ Pfd.}$$

6te Aufgabe. Welchen Druck kann ein Mann vermittelst einer gewöhnlichen hydraulischen Presse hervorbringen, wenn die Presse folgende Dimensionen hat: $l = 4''$, $L = 3{,}5'$, $d = 6'''$, $D = 1'$.

Auflösung. Da man den Druck eines Mannes, weil derselbe ja nicht andauernd arbeitet, wohl zu 25 Pfd. annehmen kann, so hat man also

$$Q = \frac{D^2 \cdot L}{d^2 \cdot l} \cdot P = \frac{1^2 \cdot 3{,}5}{0{,}06^2 \cdot 0{,}4} \cdot 25;$$

folglich $$Q = 60764 \text{ Pfd.}$$

7te Aufgabe. Welche Dimensionen sind einer hydraulischen Presse zu geben, wenn ein Mann vermittelst derselben einen theoretischen Druck von 100000 Pfd. hervorbringen soll?

Auflösung. Nimmt man den Druck, den ein Mann hervorbringen kann, wieder zu 25 Pfd. an, so ist also der von der Presse auszuübende Druck $\frac{100000}{25} = 4000$ mal größer. Macht man nun den Krafthebelarm 10 mal größer als den kürzern Hebelarm, also erstern etwa $3\frac{1}{2}$ Fuß, und letztern $3\frac{1}{2}$ Zoll, so muß die Kolbenfläche des Preßkolbens noch 400 mal größer sein, als die des Pumpenkolbens; oder es muß D^2 400 mal größer sein, als d^2.

Ist aber $D^2 = 400\,d^2$, so ist $D = 20\,.\,d$.

Der Preßkolben muß also einen 20 mal größern Durchmesser erhalten, als der Pumpenkolben.

Rechnet man direkt, so hat man: $\frac{D^2\,.\,L\,.\,P}{d^2\,.\,l} = 100000;$

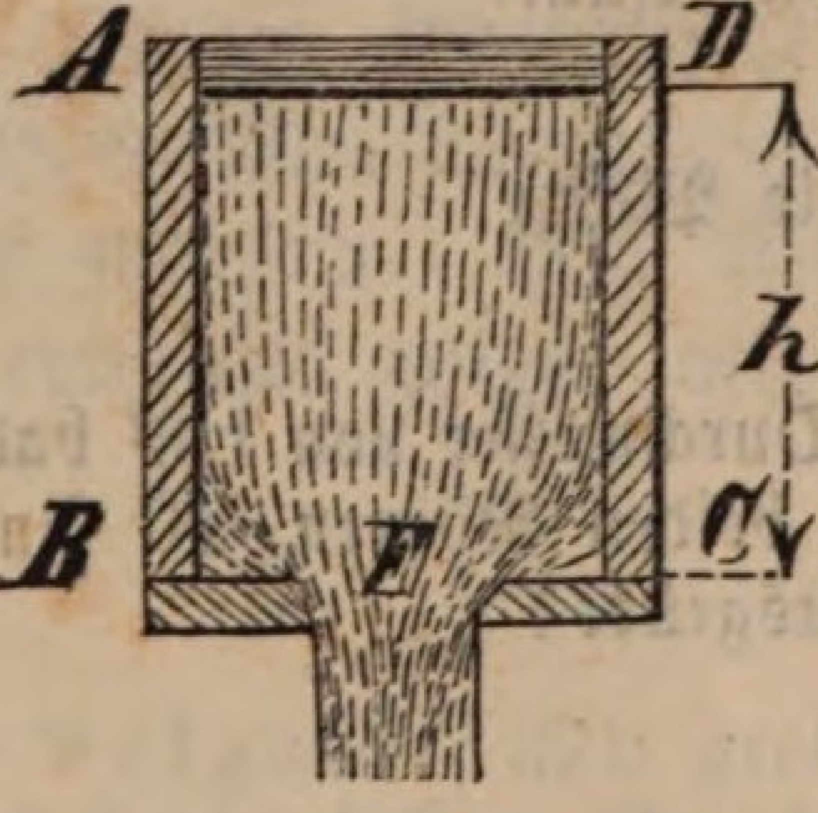
d. i. $D = \sqrt{\frac{100000\,.\,d^2\,.\,3{,}5}{35\,\cdot\,25}} = \sqrt{400\,d^2} = 20\,d.$

Da gegen Ende ein Mann, weil er theilweise durch sein Gewicht wirkt, wohl mit einer doppelten Kraft = 50 Pfd. sich anstrengen kann, so kann bei den angenommenen Dimensionen ein Druck bis zu 200000 Pfd. erzeugt werden.

C. Von dem Ausflusse aus Gefäßen.

1) Würde ein Gefäß, Fig. 182, beständig voll Wasser erhalten, während dieses durch eine Oeffnung F abfließen kann, so müßte das Wasser natürlich mit sich gleichbleibender Geschwindigkeit v ausfließen.

Fig. 182.



Erlitte dabei das Wasser gar keine Adhäsion und Reibung an der Wand und wäre h die Höhe des Wasserstandes, d. i. die Druckhöhe, so wäre v die Geschwindigkeit eines, diese Höhe h frei durchfallenden Körpers; also $v = \sqrt{2gh}$.

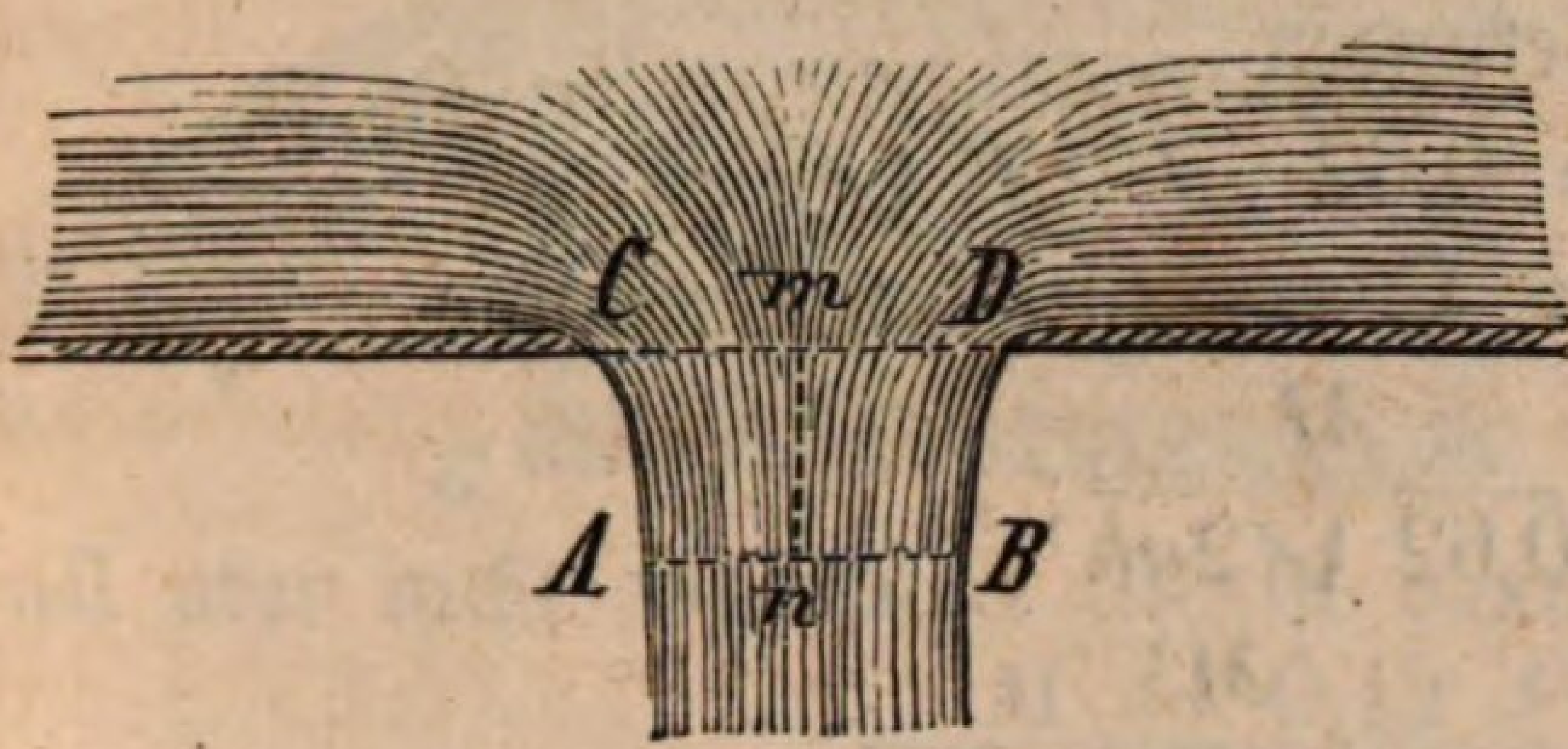
Würde auch das Wasser so durch die Oeffnung F fließen, daß der Wasserstrahl die Oeffnung vollständig ausfüllt, also alle Wasserstreifen parallel durchgehen, so wäre begreiflicherweise die in jeder Sekunde durchgeflossene Wassermenge, wenn F der Querschnitt der Oeffnung ist,

$$M = F\,.\,\sqrt{2gh}.$$

2) Die wirkliche Ausflußmenge ist nun aber stets und oft beträchtlich geringer. Denn es fließt das Wasser nicht in parallelen Streifen durch die Oeffnung, sondern, da dasselbe sich, wenn es durch eine Oeffnung in einer dünnen Wand abfließt, von allen Seiten herbeidrängt, so findet eine Zusammenziehung (Contraction) des Strahles statt.

Diese in Fig. 183 dargestellte Zusammenziehung beträgt für gewöhnliche Verhältnisse, d. h. bei mittleren Druckhöhen und Mündungsweiten, soviel, daß der Strahl nach seinem Durchfluß einen Durchmesser hat, der nur 0,8 von der Weite der Oeffnung beträgt.

Fig. 183.



Der wirkliche Querschnitt des Wasserstrahls in einer dünnen Wand ist also nur $= 0{,}8^2 F = 0{,}64\,F$.

Sodann ist die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers auch nicht vollständig $= \sqrt{2gh}$, sondern beträgt im Allgemeinen nur $0{,}97\,\sqrt{2gh}$. Es tritt also wegen der Reibung und Adhäsion an den Wänden eine kleine Verzögerung ein.

3) Die wirkliche Ausflußmenge wird darum erhalten, wenn man in dem Ausdruck $M = F\,.\,\sqrt{2gh}$ die Größe $0{,}64\,F$ statt F und $0{,}97\,\sqrt{2gh}$ statt $\sqrt{2gh}$ setzt.

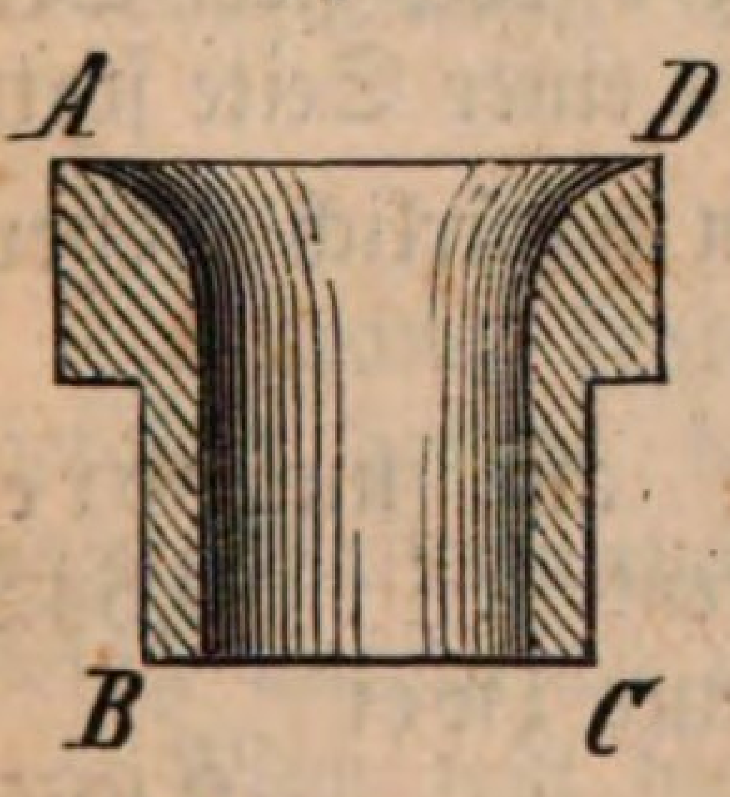
Demnach ist die thatsächliche Ausflußmenge

$$M = 0{,}64\,F\,.\,0{,}97\,\sqrt{2gh},$$

$$\text{d. i. } M = 0{,}62\,F\,\sqrt{2gh}.$$

Man nennt den Bruch 0,64 den Contractionscoefficienten, den andern Bruch 0,97 aber den Geschwindigkeitscoefficienten; den durch Multiplication der beiden genannten Brüche erhaltenen neuen Coefficienten aber nennt man den Ausflußcoefficienten.

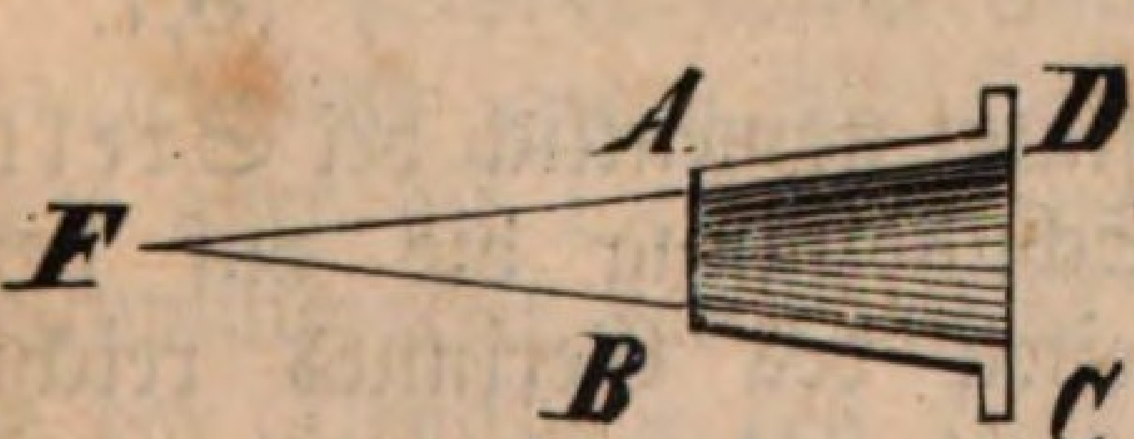
Fig. 184.



4) Ein Geschwindigkeitsverlust tritt immer und in allen Fällen ein. Ist dagegen die Gefäßwand sehr dick und es wird die Oeffnung nach innen nach der Form der zuströmenden Wasserfäden abgerundet, wie Fig. 184 zeigt, so kann die Contraction sehr vermindert oder ganz aufgehoben werden.

Im letztern Fall wäre dann die durchgeflossene Wassermenge $M = 0{,}97\,\sqrt{2gh}$.

Fig. 185.



Ebenso kann durch konische Ansatzröhren, Fig. 185, wobei $\sphericalangle\, DFC = 13\tfrac{1}{2}{}^0$, die Contraction so vermindert werden, daß der Ausflußcoefficient 0,946 beträgt.

Auch durch cylindrische Ansatzröhren, die 2—3mal so lang als weit sind, kann der Ausflußcoefficient bis 0,8 gesteigert werden.

5) Ist nun aber für eine vollständige Contraction die wirkliche sekundliche Ausflußmenge

$$M = 0{,}62\, F \sqrt{2gh},$$

so ist die Ausflußmenge in t Sekunden

$$\mathfrak{M} = M \,.\, t = 0{,}62 \,.\, t \,.\, F \sqrt{2gh}.$$

Hieraus erhält man für den Querschnitt der Oeffnung

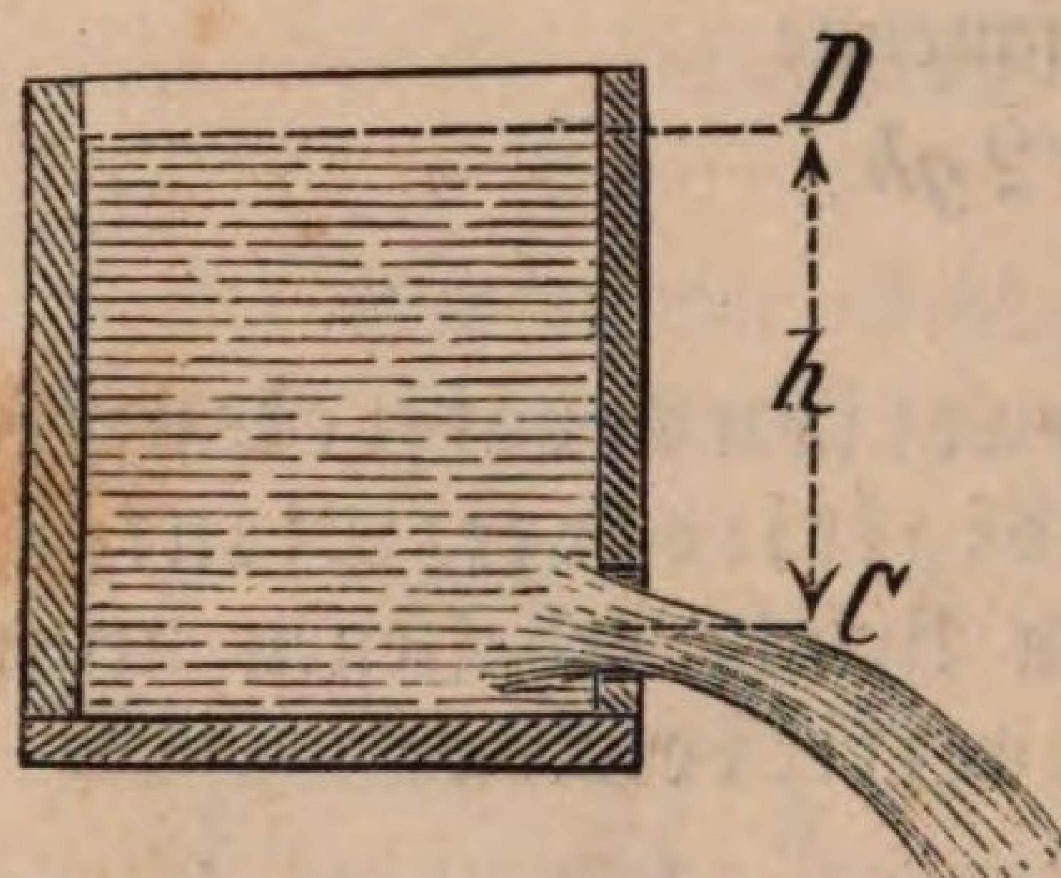
$$F = \frac{M}{0{,}62 \sqrt{2gh}};$$

für die Druckhöhe $h = \frac{M^2}{0{,}62^2\, F^2 \,.\, 2 \,.\, g};$

oder auch $h = 1{,}1 \,.\, \frac{v^2}{2g};$

und endlich für die Zeit $t = \frac{\mathfrak{M}}{M}.$

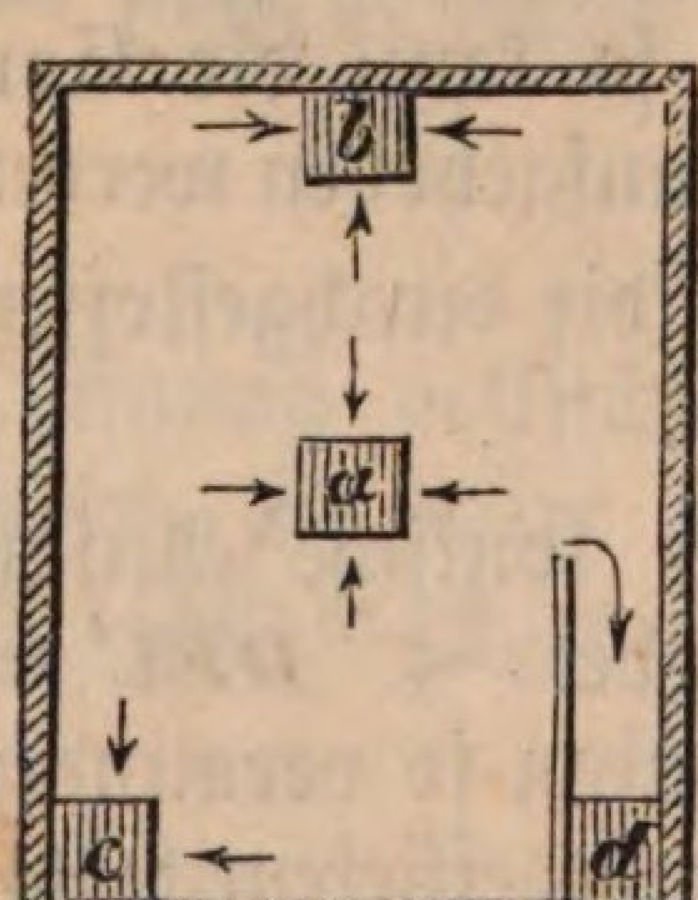
Fig. 186.



Fließt das Wasser durch eine seitliche Oeffnung, Fig. 186, so ist der Abstand *CD*, bis zur Mitte der Oeffnung gerechnet, die Druckhöhe.

6) Fällt eine Seite der Oeffnung mit der Wand, oder mit dem Boden, oder mit beiden zusammen, so ist die Contraction nur eine theilweise oder unvollständige. — So ist in Fig. 187 die Contraction *a* vollständig, in *b* findet solche nur von drei Seiten, in *c* von zwei Seiten und in *d* gar nur von einer Seite statt.

Fig. 187.

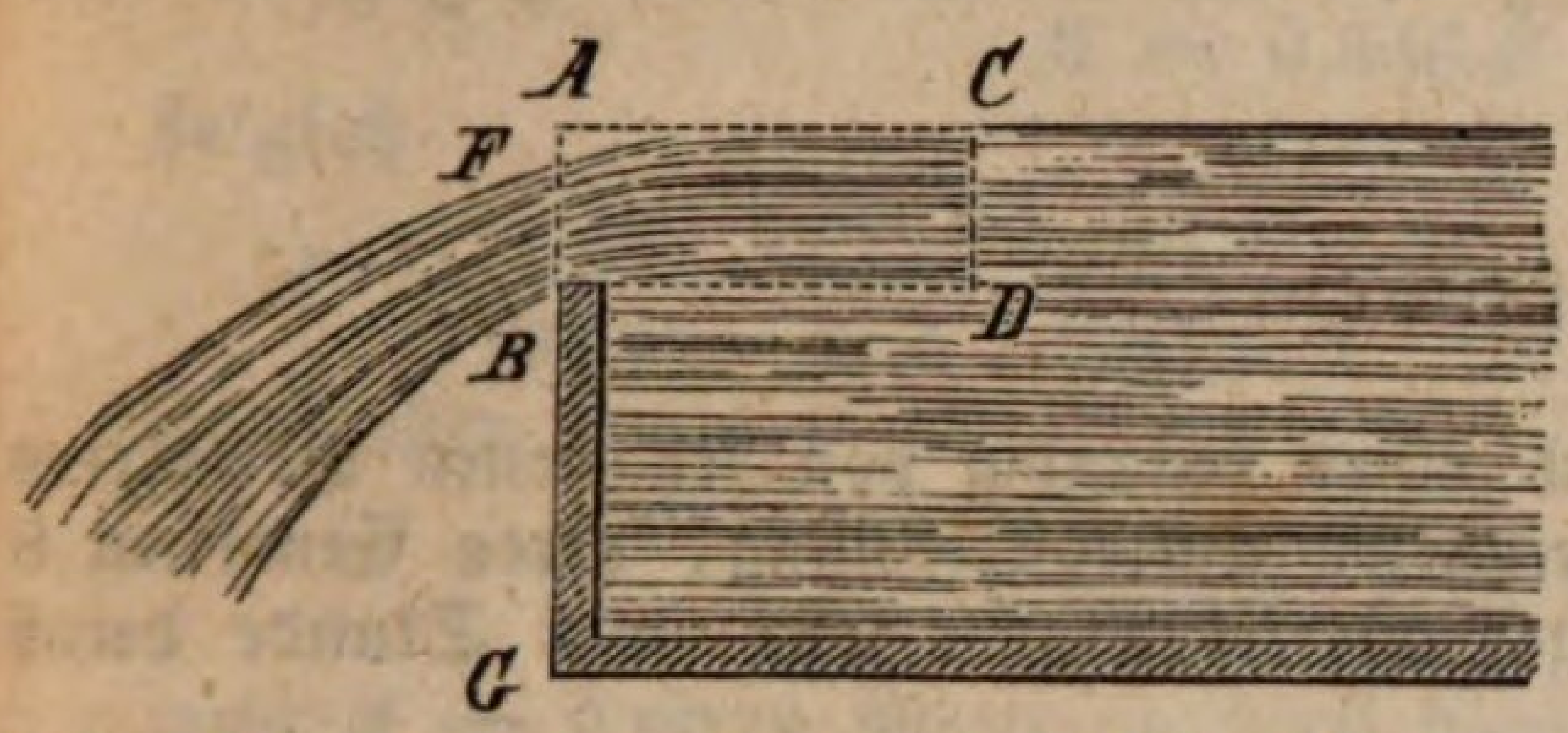


In solchen Fällen muß man natürlich höhere Ausflußcoefficienten annehmen.

Bei einer Zusammenziehung auf nur drei Seiten beträgt der Ausflußcoefficient . . 0,642,
bei einer Zusammenziehung auf nur zwei Seiten 0,665,
bei einer Zusammenziehung auf nur einer Seite . . . . 0,7.

Letztere Contraction findet namentlich bei Stellfallen statt, wo die Schutzöffnung bis auf den Boden und an die Seiten des Gerinnes reicht. Wird dann noch das schiefgestellte Schutzbrett unten abgerundet, so kann der Ausflußcoefficient bis 0,8 betragen. — Hingegen bei Stellfallen die nicht bis an die Wände reichen, ist die Contraction sehr groß und beträgt der Ausflußcoefficient nicht über 0,6.

Fig. 188.



7) Bei Ueberfällen, Fig. 188, berechnet man die Durchflußmenge so, daß man die Höhe $AB = CD$, die man einige Fuß vor dem Ueberfalle mißt, in Rechnung nimmt. Für diesen Fall und eine Contraction auf drei Seiten, wobei der Ueberfall aber nicht abgerundet ist, ist dann

$$M = 0{,}42\ F \sqrt{2gh}.$$

Hat der Ueberfall die ganze Breite des Kanals 2c., so steigt der Ausflußcoefficient bis auf 0,44. —

Wassermessung durch Ueberfälle.

8) Erhält ein Gefäß, aus dem das Wasser nacheinander ausströmt, keinen Zufluß, so wird die Ausflußgeschwindigkeit fort und fort geringer, bis sie am Ende, wenn das Gefäß leer ist, zu Null geworden. Das Wasser macht darum hier eine gleichförmig verzögerte Bewegung und während der Zeit, in der das Gefäß leer wird, würde aus einem beständig voll erhaltenen Gefäße die nämliche Wassermenge ausfließen, wenn dort das Wasser mit einer Geschwindigkeit ausflöße, die der halben Anfangsgeschwindigkeit hier gleich ist.

Hieraus folgt, daß die Wassermenge, welche in der Zeit, in der sich der Behälter leert, (d. i. der Inhalt) ausfließt, gerade halb so groß ist, als die Menge, welche in der nämlichen Zeit aus dem Gefäße fließen würde, wenn es beständig voll erhalten würde.

Es ist darum die durchschnittliche Wassermenge per Sekunde bei vollständiger Contraction

$$M = \frac{0{,}62\ F \sqrt{2gh}}{2}.$$

Daraus ergiebt sich, daß die nöthige Zeit zum Entleeren des Gefäßes gerade das Doppelte der Zeit ist, in welcher eine gleich große Wassermenge aus der nämlichen Oeffnung bei voll erhaltenem Gefäß ausfließen würde.

Man setzt hier gewöhnlich den Ausflußcoefficienten 0,63, da mit abnehmender Druckhöhe die Contraction geringer wird.

9) Bisher wurde immer angenommen, es finde auf den Wasserspiegel und gegen die Oeffnung der gleiche Luftdruck statt. Mündet nun aber die Oeffnung in einen leeren Raum, so wird die Ausflußgeschwindigkeit des Wassers eine viel größere sein und man müßte dann zu der Druckhöhe des Wassers noch die Höhe einer, den Luftdruck darstellenden (nach folgendem Abschn. 34 bad. Fuß hohen) Wassersäule addiren. Wäre aber das Gefäß oben luftdicht abgeschlossen, während gegen die Mündung der Luftdruck wirkt, so müßte man diese Wassersäule in Abzug bringen. Ist die vorhandene Druckhöhe geringer, als

letztere, so fließt gar nichts aus, z. B. bei einem vollen zugespundeten Faß 2c.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. In der dünnen Wand eines beständig voll erhaltenen Behälters befinde sich eine kreisrunde, 1 Decimeter weite Oeffnung, deren Centrum 8 Decimeter unterm Wasserspiegel liegt; wieviel Wasser wird in 1 Stunde durch die Oeffnung fließen?

Auflösung. Nach Seite 131 ist die sekundliche Menge

$$M = 0{,}62\, F \,.\, \sqrt{2gh};$$

folglich, da

$$F = \frac{d^2 \,.\, \pi}{4} = \frac{1 \,.\, 3{,}1416}{4} = 0{,}7854 \;\square\text{Decim.} = 0{,}007854 \;\square\text{Meter},$$

$$M = 0{,}62 \,.\, 0{,}007854 \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}8} = 0{,}01928 \text{ Cubikmeter.}$$

Somit beträgt die Menge für 1 Stunde

$$\mathfrak{M} = 3600 \cdot 0{,}01928 = 69{,}408 \text{ Cubikmeter} = 69408 \text{ Liter.}$$

2te Aufgabe. Durch eine, in einem Schleußenthore angebrachte rechteckige Oeffnung von 3′ bad. Breite und 8″ Höhe ströme das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 12′; wie groß ist die per Sekunde ausfließende Wassermenge?

Auflösung. Da angenommen wird, daß das Wasser vor dem Schleußenthor beständig auf gleicher Höhe erhalten werde, so ist nach S. 131

$$M = 0{,}64 \,.\, F \,.\, v = 0{,}64 \,.\, 3 \,.\, 0{,}8 \,.\, 12 = 18{,}432 \text{ Cubikfuß};$$

oder $M = 18{,}432 \cdot 18 = 331{,}776$ bad. Maß.

3te Aufgabe. Aus einer runden Mündung von 3″ preuß. Durchmesser, die so geformt ist, daß der austretende Wasserstrahl keine Contraction erleidet, sind in 2 Minuten und 20 Sekunden 120 preuß. Cubikfuß Wasser ausgeflossen; wie groß war die Ausflußgeschwindigkeit, sowie die zugehörige Druckhöhe?

Auflösung. Hier ist $M = F \cdot v$; und da 2 Minuten 20 Sekunden = 140 Sekunden sind,

$$M = \frac{\mathfrak{M}}{140} = {}^{120}/_{140} = {}^{6}/_{7} \text{ Cubikfuß};$$

folglich

$$v = \frac{M}{F}; \text{ d. i., weil } F = ({}^{1}/_{4})^2 \,.\, \frac{3{,}14 \square'}{4},$$

$$v = \frac{6 \cdot 16 \,.\, 4}{7 \,.\, 3{,}14} = 17{,}4 \text{ pr. Fuß.}$$

Diese Geschwindigkeit ist nach S. 131 $= 0{,}97 \sqrt{2 \cdot g \,.\, h}$; also

$$2 \,.\, g \cdot h = \frac{17{,}4^2}{0{,}97^2}; \text{ und daher die Druckhöhe}$$

$$h = \frac{17{,}4^2}{0{,}97^2 \,.\, 2 \,.\, 31{,}25} = 5{,}15 \text{ Fuß.}$$

4te Aufgabe. Ein Wasserbehälter erhält per Sekunde einen Zufluß von 5 Cubikdecimeter; wenn nun eine Ausflußöffnung, deren Centrum 4 Meter unter dem Wasserspiegel liegt, angebracht und mit einem konischen Ansatzrohr nach Fig. 314 versehen ist, wie groß muß der kleinste Durchmesser des Rohres sein, damit die abfließende Wassermenge gleich der zufließenden ist?

Auflösung. Für diesen Fall ist nach S. 131

$$M = 0{,}946\, F \,.\, \sqrt{2gh};$$

folglich

$$F = \frac{0{,}005}{0{,}946 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 4}} = \frac{0{,}005}{0{,}946 \sqrt{78{,}48}} = 0{,}0006 \; \square\text{Meter},$$

und daher

$$\frac{d^2 \,.\, \pi}{4} = 0{,}0006; \text{ d. i. } d = \sqrt{\frac{4 \,.\, 0{,}0006}{3{,}14}};$$

also $d = 0{,}0276$ Meter $= 2{,}76$ Centimeter.

5te Aufgabe. Wie groß muß die Druckhöhe vor der Schutzöffnung eines Zuleitungskanales für ein oberschlächtiges Wasserrad sein, wenn die Schutzöffnung eine Breite von 3,6 Fuß bad. hat und das Schutzbrett 4 Zoll hoch aufgezogen ist, und wenn per Sekunde 10 Cubikfuß Wasser ausfließen sollen?

Auflösung. Fällt die Schutzöffnung mit dem Boden des Kanales, nicht aber mit den Seiten des letztern zusammen, so findet eine Contraction von drei Seiten statt und es ist nach S. 132, da bei derartigen Schutzöffnungen für gewöhnliche Druckhöhen nur ein Ausflußcoefficient von 0,6 angenommen werden kann,

$$M = 0{,}6 \,.\, F\sqrt{2gh}; \text{ also } h = \frac{M^2}{0{,}6^2 \,.\, F^2 \,.\, 2 \,.\, 32{,}7};$$

folglich, weil $F = 3{,}6 \,.\, 0{,}4 = 1{,}44 \,\square'$ ist,

$$h = \frac{100}{0{,}36 \,.\, 2{,}074 \,.\, 2 \,.\, 32{,}7} = 2{,}05 \text{ Fuß},$$

und es muß also der Wasserstand im Zuleitungskanal eine Höhe von $2{,}05 + 0{,}2 = 2{,}25$ Fuß haben.

6te Aufgabe. Wie hoch muß die unter einem Winkel von 45° in dem Kanale eines unterschlächtigen Wasserrades angebrachte Schütze aufgezogen werden, wenn die Tiefe des Kanales 4 bad. Fuß beträgt, und wenn die 8 Fuß breite Schutzöffnung, welche mit dem Boden und den Seiten des Gerinnes zusammenfällt, per Sekunde 25 Cubikfuß Wasser liefern soll?

Auflösung. Da hier der Ausflußcoefficient wegen der nur auf einer Seite stattfindenden Zusammenziehung des Strahls nach S. 132 $= 0{,}8$ ist, so hat man

$$M = 0{,}8 \,.\, F \,.\, \sqrt{2gh};$$

folglich, wenn man die gesuchte Höhe der Oeffnung mit x bezeichnet, so daß also die bis zur Mitte derselben zu rechnende Druckhöhe $= \left(4 - \frac{x}{2}\right)$ Fuß ist,

$$25 = 0{,}8 \,.\, 8 \,.\, x\sqrt{2g\left(4 - \frac{x}{2}\right)}.$$

Dies gibt durch Umformung eine cubische Gleichung. Um dieselbe zu vermeiden, nehme man vorerst in obiger Gleichung als Druckhöhe h den Abstand des Wasserspiegels vom Boden des Kanales $= 4'$ an. Alsdann ist

$$25 = 0{,}8 \,.\, 8 \,.\, x\sqrt{2 \,.\, g \,.\, 4};$$

folglich

$$x = \frac{25}{0{,}8 \,.\, 8\sqrt{8 \,.\, 32{,}7}} = \frac{25}{6{,}4 \,.\, 16{,}17} = 0{,}242 \text{ Fuß}.$$

Diese Höhe x ist aber etwas zu klein, da die in dem Ausdrucke

$$x = \frac{25}{0{,}8 \,.\, 8\sqrt{2 \,.\, 32{,}7 \,.\, 4}}$$

im Nenner vorkommende Druckhöhe h zu $4'$, also zu groß angenommen wurde.

Nimmt man nun die Druckhöhe $h = 4 - x$, und setzt für x den obige Werth 0,242′, so erhält man

$$h = 4 - 0{,}242 = 3{,}758';$$

folglich $$x = \frac{25}{0{,}8 \,.\, 8\sqrt{2 \,.\, 32{,}7 \,.\, 3{,}758}} = 0{,}249'.$$

Diese Höhe ist aber zu groß, weil die Druckhöhe h, die nicht $4 - x$, sonder $= 4 - \frac{x}{2}$ ist, zu klein angenommen wurde.

Das Mittel beider Werthe von x gibt darum einen für die Anwendun mehr als genauen Werth für die Höhe der Schutzöffnung; nämlich

$$x' = \frac{0{,}242 + 0{,}249}{2} = 0{,}245 \text{ Fuß}.$$

Anmerkung. Die Probe gibt:

$$M = 0{,}8 \,.\, 8 \,.\, 0{,}245 \sqrt{2 \,.\, 32{,}7 \left(4 - \frac{0{,}245}{2}\right)},$$

oder $M = 24{,}98$ Cubikfuß.

7te Aufgabe. Welche Zeit ist erforderlich, bis ein Ueberfall von 1,2 Mete Breite bei einem Wasserstand oder einer Druckhöhe von 0,2 Meter eine Was sermenge von 10 Cubikmeter durchläßt?

Auflösung. Nach S. 133 ist die sekundliche Menge, wenn eine Contraction vo drei Seiten stattfindet,

$$M = 0{,}42 \,.\, F \,.\, \sqrt{2gh};$$

folglich

$$M = 0{,}42 \,.\, 1{,}2 \,.\, 0{,}2\sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}2} = 0{,}1996 \text{ Cubikmeter}.$$

Somit ist die nöthige Zeit, bis 10 Cubikmeter ausfließen,

$$t = \frac{\mathfrak{M}}{M} = \frac{10}{0{,}1996} = 50{,}1 \text{ Sekunden}.$$

8te Aufgabe. Welche Breite muß ein vollständiger Ueberfall erhalten, der be einer Druckhöhe von 1 Fuß bad. per Sekunde eine Wassermenge von 8 Cubikfuß liefern soll?

Auflösung. Aus der Formel

$$M = 0{,}42 \,.\, F\sqrt{2gh} = 0{,}42 \,.\, b \,.\, h\sqrt{2gh}$$

erhält man die Breite

$$b = \frac{M}{0{,}42 \,.\, h \,.\, \sqrt{2gh}};$$

folglich

$$b = \frac{8}{0{,}42 \,.\, 1 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 32{,}7 \,.\, 1}} = \frac{8}{3{,}3936} = 2{,}36 \text{ Fuß}.$$

9te Aufgabe. Wie groß ist die anfängliche Ausflußgeschwindigkeit, mit welche das Wasser aus einer in einem cylindrischen Gefäße angebrachten Oeffnung strömt, wenn das Centrum dieser Oeffnung 8′ preuß. unter dem Wasserspiegel liegt, und wenn auf die Oberfläche des Wassers ein gußeiserner Kolben drückt, der eine Höhe von 5″ pr. hat?

Auflösung. Da das spezifische Gewicht des Gußeisens = 7,2 ist, so ist nach S. 133 der Druck, welchen der Kolben vermöge seines Gewichtes ausübt, gleich dem Drucke einer Wassersäule, welche eine Höhe $= 7{,}2 \,.\, \frac{5}{12} = 3'$ hat.

Somit ist die gesammte Druckhöhe, welche in Rechnung kommt, $h = 8 + 3 = 11$ Fuß, und daher die theoretische Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2\ .\ 31{,}25\ .\ 11} = 26{,}22';$$

folglich nach §. 191 die wirkliche Geschwindigkeit

$$v' = 0{,}97\ .\ 26{,}22 = 25{,}4 \text{ rhein. Fuß.}$$

10te Aufgabe. Welche Zeit ist erforderlich, um einen Wasserbehälter von 5 Meter Länge, $1^1/_2$ Meter Breite und 2 Meter Höhe, der keinen Zufluß erhält, zu leeren, wenn die viereckige Ausflußöffnung im Boden angebracht und $1^1/_2$ Decimeter lang und 1 Decimeter breit ist; und wie lange dauert es, bis der Wasserspiegel sich um 1 Meter gesenkt hat?

Auflösung. Nach S. 133 ist die Zeit, in welcher der Behälter sich leert, wenn F' der Querschnitt des Behälters ist,

$$t = \frac{2\ .\ F'\ .\ h}{0{,}63\ .\ F\ .\ \sqrt{2gh}};$$

folglich, da

$F' = 5\ .\ 1{,}5 = 7{,}5$, $h = 2$, und $F = 0{,}15\ .\ 0{,}1 = 0{,}015$

ist, so hat man:

$$t = \frac{2\ .\ 7{,}5\ .\ 2}{0{,}63\ .\ 0{,}015 \sqrt{.\ 2\ .\ 9{,}81\ .\ 2}} = \frac{30}{0{,}63\ .\ 0{,}015\ .\ 6{,}27} = 506 \text{ Sekunden.}$$

Die Zeit, in welcher der Wasserspiegel sich um 1 Meter, also von 2 Meter Höhe auf 1 Meter senkt, wird erhalten, wenn man die Zeit t'' berechnet, welche erforderlich ist, um von letzterer Höhe an den Behälter zu leeren, und dann diese Zeit von jener Zeit t abzieht.

Es ist aber die Zeit t'' weil $F' = 7{,}5$; $h'' = 1$ und $F = 0{,}015$,

$$t'' = \frac{2\ .\ 7{,}5\ .\ 1}{0{,}63\ .\ 0{,}015\ .\ \sqrt{2\ .\ 9{,}81\ .\ 1}} = 358{,}3 \text{ Sekunden.}$$

Somit ist die zur fraglichen Senkung nöthige Zeit

$$t' = t - t'' = 506 - 358{,}3 = 147{,}7 \text{ Sekunden.}$$

D. Von der Bewegung des Wassers in Röhren und Flüssen.

1) Je geringer der Umfang einer Röhre, eines Kanals ꝛc. im Verhältniß zum Querschnitt ist, um so größer ist die in einer bestimmten Zeit durchgeflossene Wassermenge. Es erleidet nämlich das Wasser an den Wänden einen Widerstand; darum je geringer der Umfang, desto weniger Widerstand.

Nun sind aber der Kreis und die regelmäßigen Vielecke diejenigen Figuren, die bei gleichem Inhalt den kleinsten Umfang haben. Es ist darum zunächst der Halbkreis, dann das halbe Sechseck, halbe Quadrat ꝛc. die beste Form für den Querschnitt eines Kanals.

Die Geschwindigkeit in dem Zuführungskanal für ein Wasserrad soll nur gering sein, um ein großes Gefälle für das Rad übrig zu behalten und damit auch das Wasser den Boden nicht aufwühlt. Die gewöhnliche Geschwindigkeit beträgt $^2/_3 - ^4/_3$ Fuß; letztere bei sand- und schlammführendem Wasser.

2) Das Wasser hat an verschiedenen Stellen eines Flusses oder Kanals nicht überall die gleiche Geschwindigkeit. Dieselbe ist nämlich gegen die Ufer und den Boden hin geringer.

Die mittlere Geschwindigkeit, d. i. $v = \frac{M}{F}$, wenn F der Querschnitt des Kanals ist, ist nach Beobachtungen und Messungen nur

$$v = 0{,}83\ V,$$

wenn V die Geschwindigkeit in der Mitte der Oberfläche, d. i. im sogen. Stromstrich, bezeichnet.

Also ist die per Sekunde durch das Flußbett geflossene Wassermenge

$$M = 0{,}83\ .\ V\ .\ F.$$

3) Man findet die Stromgeschwindigkeit V, wenn man einen etwas schweren Körper, der zum größten Theil eintaucht, in die Mitte des Stromes wirft und die Zeit beobachtet, welche dieser sogen. Schwimmer braucht, um eine abgemessene Strecke zu durchlaufen.

Durchlauft derselbe in 100 Sekunden eine Strecke von 350 Fuß, so wäre die Stromgeschwindigkeit $V = \frac{350}{100} = 3\frac{1}{2}$ Fuß.

Gewöhnliche Geschwindigkeit der Flüsse $^1/_2$—2 Meter, meistens *ca.* 1 Meter.

4) Wassermessung. Die von einem Bache, Flusse 2c. gelieferte Wassermenge wird entweder aus der eben bestimmten mittlern Geschwindigkeit und dem Querschnitt berechnet. Oder aber man mißt auch die durchfließende Wassermenge durch einen nach Satz C. 7 angebrachten Ueberfall, bestehend aus einem Brette mit einem rechteckigen Einschnitte oben, wobei die Kanten scharf gehalten sind. Dasselbe kann auch durch den sogen. Wasserzoll geschehen. — Man wendet hiebei ein Brett mit runden Löchern an, die alle in gleicher Höhe stehen. Bei der Anwendung verschließt man so viele Oeffnungen, bis das ankommende Wasser gerade durchzufließen vermag, ohne sich dabei zu stauen. Die Durchflußmenge wird dann nach Satz C. 3 berechnet.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Wassermenge liefert ein Kanal per Sekunde, wenn der Querschnitt des Wasserstromes eine untere Breite von 4′, eine obere Breite von 8′, und eine Höhe von 3,5′ hat, und wenn die beobachtete Geschwindigkeit an der Oberfläche = 3,2′ ist?

Auflösung. Nach Obigem ist

$$M = 0{,}83\ .\ 3{,}2\ .\ 6\ .\ 3{,}5 = 55{,}776 \text{ Cubikfuß.}$$

2te Aufgabe. Wie groß ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem senkrecht ausgemauerten Kanal von 10′ Breite und 3′ Tiefe, wenn der Kanal in jeder Sekunde 60 Cubikfuß Wasser liefert?

Auflösung. Die mittlere Geschwindigkeit ist

$$v = \frac{M}{F} = \frac{60}{30} = 2 \text{ Fuß.}$$

3te Aufgabe. Wie groß ist die von einem Kanale per Sekunde gelieferte, durch einen Ueberfall gemessene Wassermenge, wenn die Breite des Ueberfalls, zu 0,6—0,7 der ganzen Breite angenommen, = 1,5 und h = 0,2 Meter ist?

Auflösung. Nach S. 133 und 138 ist

$$M = 0{,}42\ .\ 1{,}5\ .\ 0{,}2\ \sqrt{2\ .\ 9{,}81\ .\ 0{,}2} = 0{,}25 \text{ Cubikmeter.}$$

E. Von der Wasserkraft und den Wasserrädern.

1) Das Wasser, welches ein sogen. Wasserrad in Umdrehung versetzt, wirkt entweder in der Art, daß dasselbe in einer bestimmten Höhe in das Rad eintritt, vorhandene hohle Räume — Zellen oder Kübel — ausfüllt, und durch sein Gewicht das Rad in Rotation setzt. Oder aber das Wasser stößt vermöge seiner lebendigen Kraft (Abschn. IV. 8) gegen die, ihm in seiner Bewegung entgegenstehenden Radschaufeln und bewirkt ebenfalls eine Umdrehung.

Erstere Wirkung, nämlich ein beständiger Druck, ist besser, als letztere, welche eine stoßweise ist. Darum auch sucht man, wo man kann, das Wasser ohne Stoß in das Rad zu leiten; denn bei allen Stößen unelastischer Körper geht an der Wirkungsfähigkeit der bewegten Masse verloren.

2) Man unterscheidet, nach der Lage des Rades, vertikale und horizontale Wasserräder.

Erstere werden nach der Art des Wasseraufschlags wieder eingetheilt in

a) oberschlächtige Wasserräder,
b) mittelschlächtige "
c) unterschlächtige "

Je nach der Art der Wasserzuführung und der Construction unterscheidet man wieder Unterarten, die in der Folge genannt werden.

Die horizontalen Wasserräder, die also auf einer vertikalen Welle sitzen, heißen gemeinhin Turbinen. Doch sind im eigentlichen Sinne nur jene Wasserräder Turbinen, bei welchen das Wasser auf alle Theile des Umfangs zugleich wirkt.

Die bekanntesten horizontalen Wasserräder sind:

a) die Fourneyron'sche Turbine,
b) die Whitelaw'sche oder schottische Turbine,
c) die Henschel-Jonval'sche Turbine,
d) die Zuppinger'sche Turbine oder das Tangentialrad.

Die Benennungen rühren von den Erfindern (Constructeuren) her.

3) Wirkt eine Wassermenge, deren Gewicht $= G$ ist, durch eine Höhe h, das Gefälle, durch welche sie fällt, auf das Rad ein, so ist nach Früherm die Wirkungsfähigkeit des Wassers, d. i. die sogen. Wasserkraft $P \,.\, s = G \,.\, h$.

Wirkt aber das Wasser vermöge seiner Bewegung (lebendigen Kraft) auf die Radschaufeln, so ist nach IV. 8 seine Wirkungsfähigkeit

$$P \,.\, s = \frac{G \,.\, V^2}{2 \,.\, g},$$

wenn V die Geschwindigkeit des Wassers beim Auftreffen auf das Rad ist.

Man erhält darum stets das Arbeitsvermögen einer

Wasserkraft, wenn man das Gewicht des auf das Rad wirkenden Wassers mit der Höhe, von welcher es bei der Wirkung herabsinkt, multiplizirt.

Oder es ist die Leistungsfähigkeit gleich der dem Gewichte und der Geschwindigkeit des auftreffenden Wasserstroms entsprechenden lebendigen Kraft.

4) Aus begreiflichen Gründen ist nun aber die nutzbare Leistung eines Wasserrades immer geringer, als das dem Aufschlagwasser zukommende Arbeitsvermögen. Denn nicht nur sind Hindernisse jeder Art zu überwinden, sondern es kommt auch nicht alles Wasser zur gehörigen Wirkung.

Durch Beobachtungen und Messungen hat man nun gefunden, daß der Nutzeffekt jeder Radgattung bei guter Construktion im Allgemeinen immer ein und dasselbe bestimmte Bruchtheil von der theoretischen Arbeitsgröße $G \cdot h$ ist.

Dieser Nutzeffekt ist am geringsten bei den unterschlächtigen Rädern, und beträgt dort nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ Gh. — Am größten aber ist der Nutzeffekt bei den oberschlächtigen Wasserrädern und den bessern Turbinen, und beträgt bei diesen 0,6 bis 0,75 Gh.

5) Von Einfluß auf die Größe des Nutzeffektes der Wasserräder ist auch ihre Umfangsgeschwindigkeit. Diese soll im Allgemeinen halb so groß sein, als die Geschwindigkeit des auftreffenden Wassers. Die vortheilhafteste Geschwindigkeit unterschlächtiger Räder aber ist $= 0{,}4\ V$; bei Turbinen $0{,}5 - 0{,}7\ V$, oder aber, wenn sie halb so viel Umdrehungen machen, als wenn sie leer gehen.

Beschreibung der Wasserräder.

1) Das oberschlächtige Wasserrad, Fig. 189, empfängt das Wasser durch ein kurzes Gerinne G wenig unter dem Scheitel des Rades. Das Wasser soll ohne allen Stoß eintreten; darum auch soll der Wasserstand vor dem Schutzbrett B nicht zu hoch sein. Die sogen. Zellen, deren Construktion ersichtlich ist, sollen sich nur, mit Einrechnung der Zellenwände, zu $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$ füllen, so daß das Wasser lange im Rad bleibt.

Der Nutzeffekt der oberschlächtigen Räder ist bis 0,75 Gh. Das Gefälle h wird hiebei vom obern bis zum untern Wasserspiegel gemessen.

Hieher gehört auch das rückenschlächtige Zellenrad, Fig. 190, welches das Wasser durch besondere Kanäle oder Coulissen aa empfängt.

2) Die mittelschlächtigen Wasserräder empfangen das Wasser nahe unter der Mitte der Radhöhe.

Man unterscheidet sogen. Kropfräder, Schaufelräder mit Ueberfalleinlauf und Schaufelräder mit Coulisseneinlauf.

Die mittelschlächtigen Räder sind mit einem vorn und seitlich enge an das Rad anschließenden Mantel, dem sogen. Kropfgerinne um-

Fig. 189.

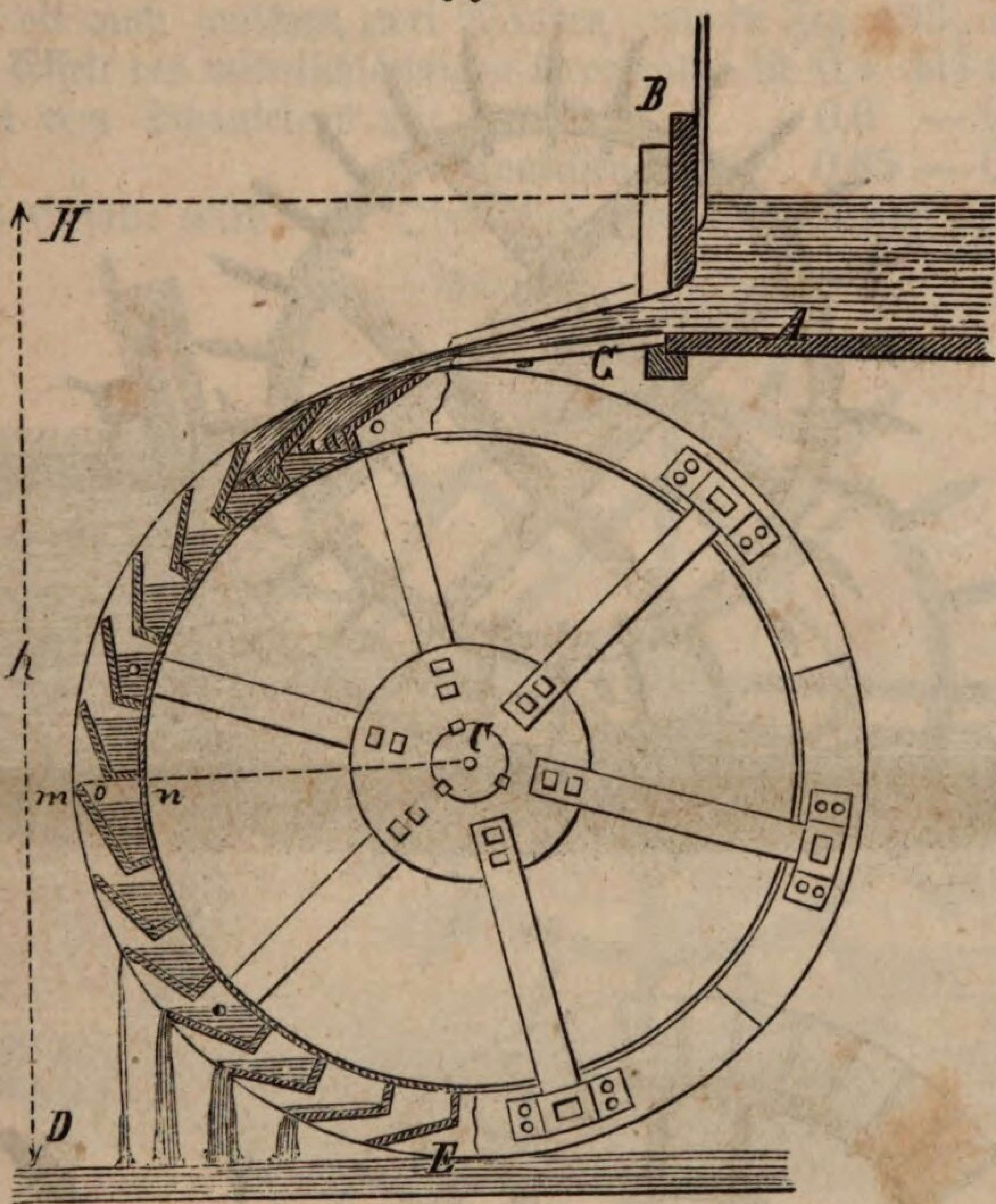


Fig. 190.

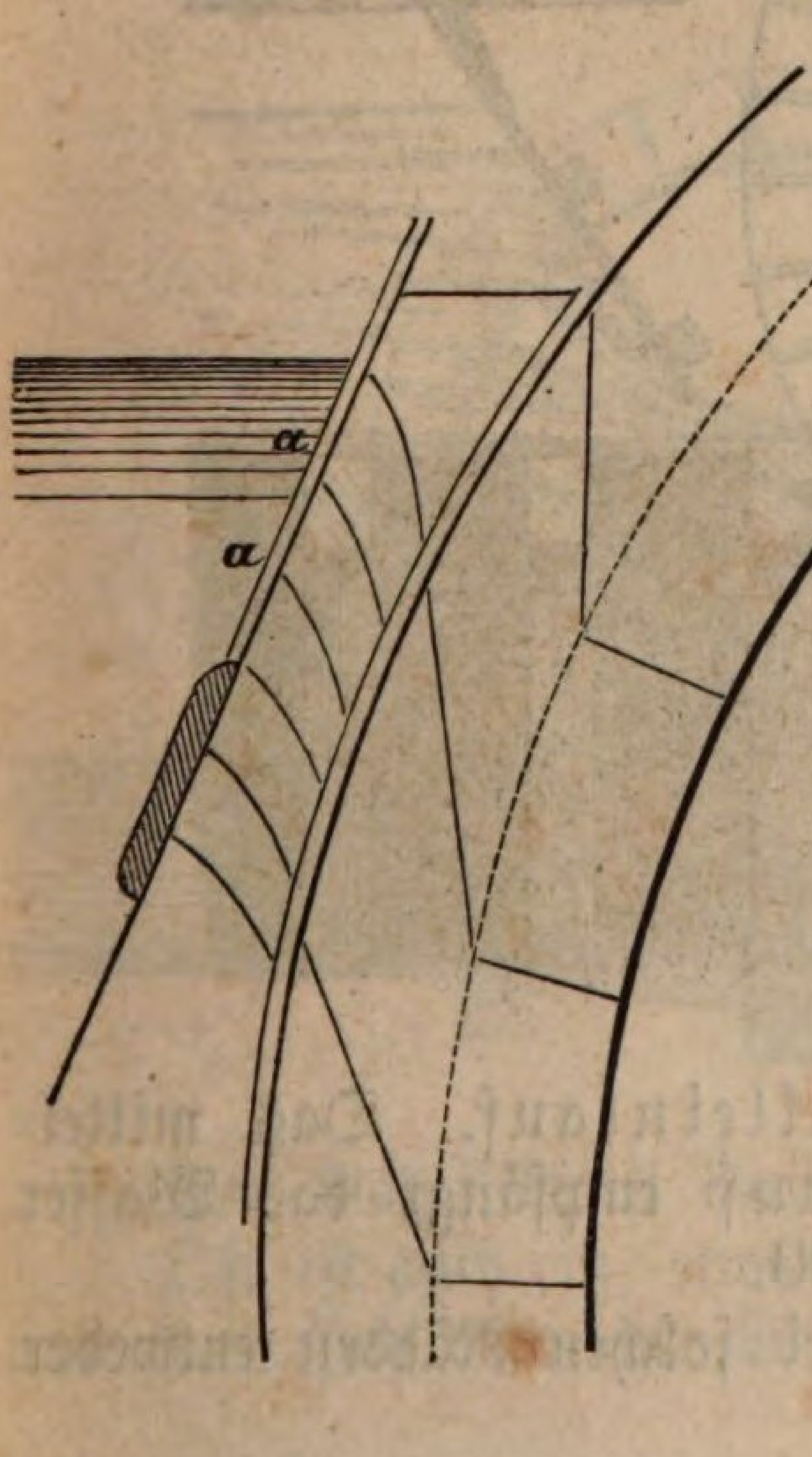
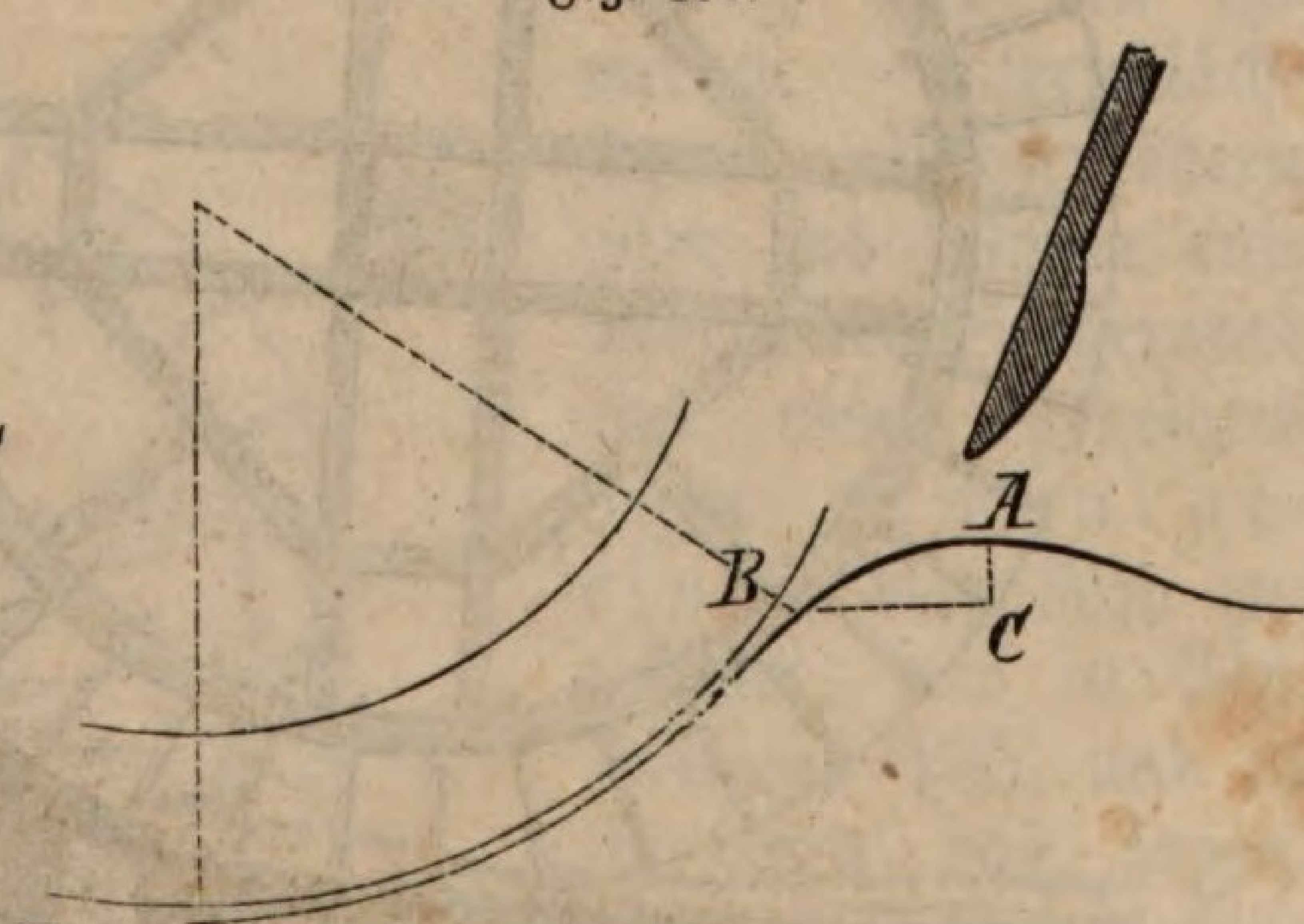


Fig. 191.



geben, um das Wasser zwischen den Radschaufeln zurückzuhalten. Wird das Wasser durch eine sogen. Spannschütze wie in Fig. 191 zugeleitet, so bekommt das Gerinne am Anfang eine kropfartige Erhöhung **AB** und man nennt dann das Rad das eigentliche Kropfrad.

Fig. 192.

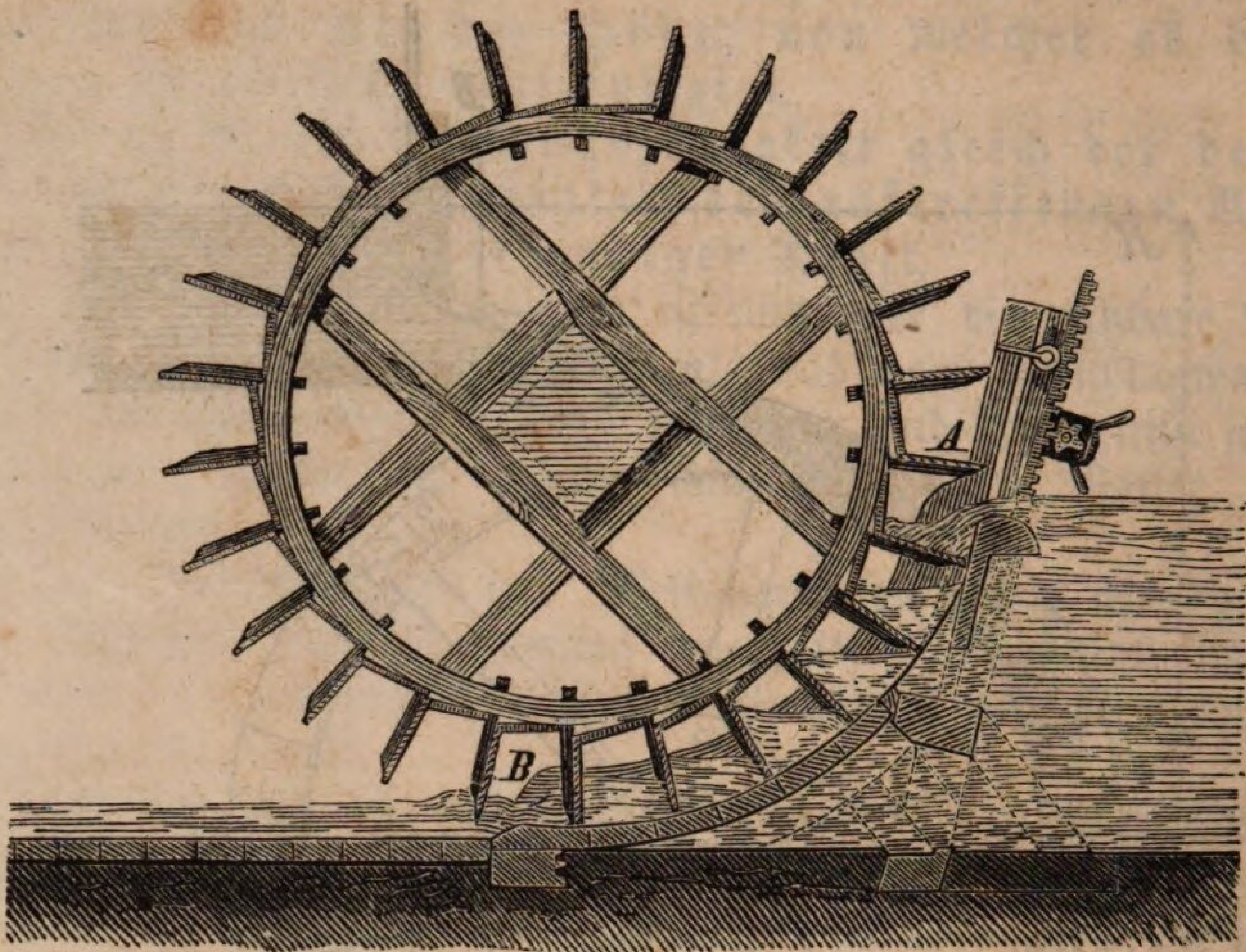


Fig. 193.

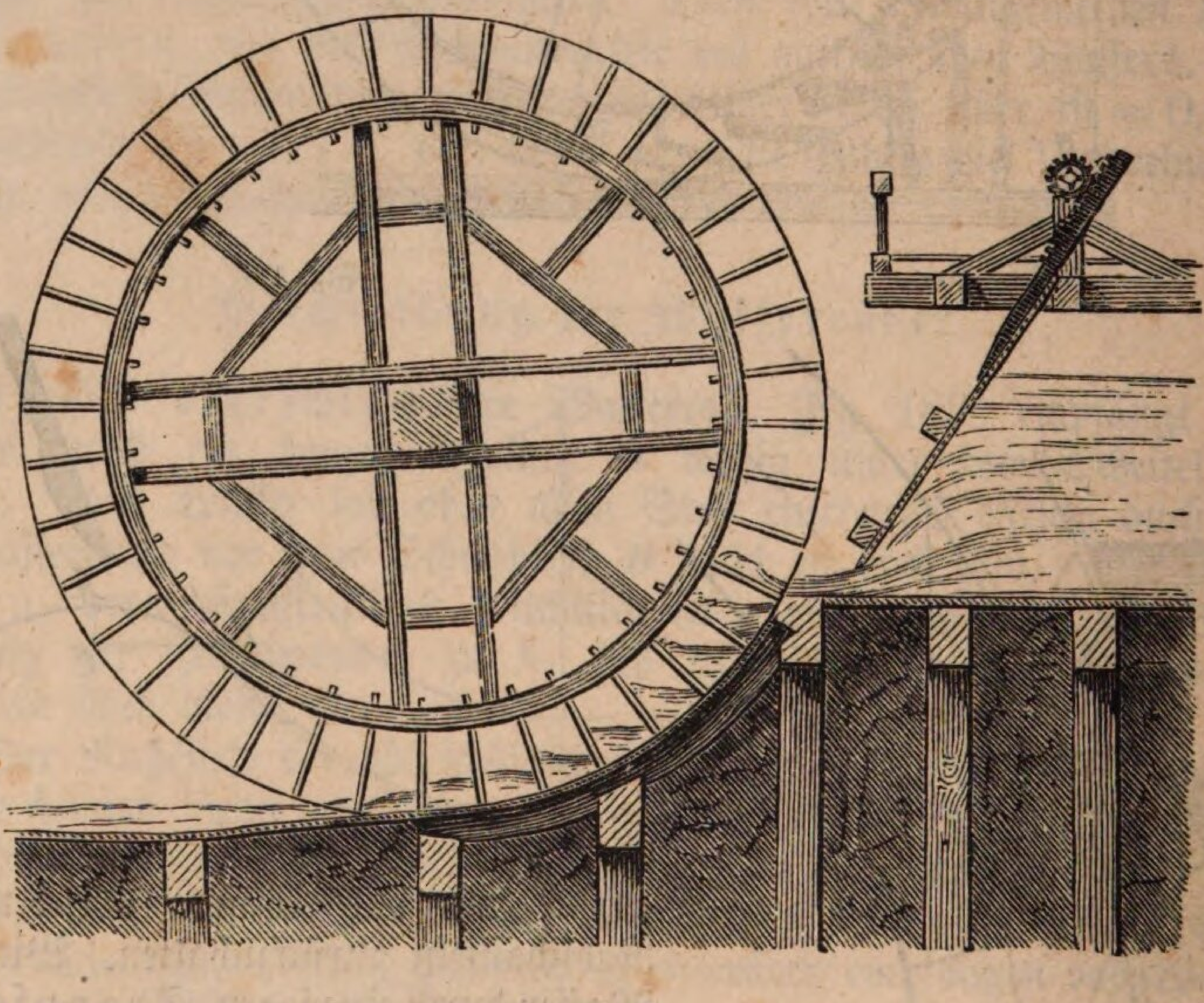


Fig. 192 ist ein Rad mit Ueberfalleinlauf. Das mittelschlächtige Rad mit dem Coulisseneinlauf empfängt das Wasser wie das rückenschlächtige Zellenrad, Fig. 190.

Die radial gestellten Schaufeln sind bei solchen Rädern entweder

auf kurzen, aus dem Radkranze hervorragenden Armen, wie in Fig. 192, oder aber oft auch zwischen zwei Wänden, wie in Fig. 193, angebracht.

Der Effekt des mittelschlächtigen Kropfrades ist 0,4 bis 0,5 $G.h$,
bei dem Schaufelrad mit Ueberfall . . . 0,6 — 0,65 $G.h$,
" " " Coulisseneinlauf . 0,65 — 0,7 $G.h$.

Das Gefälle wird vom Ober= bis zum Unterwasser gerechnet.

Fig. 194.

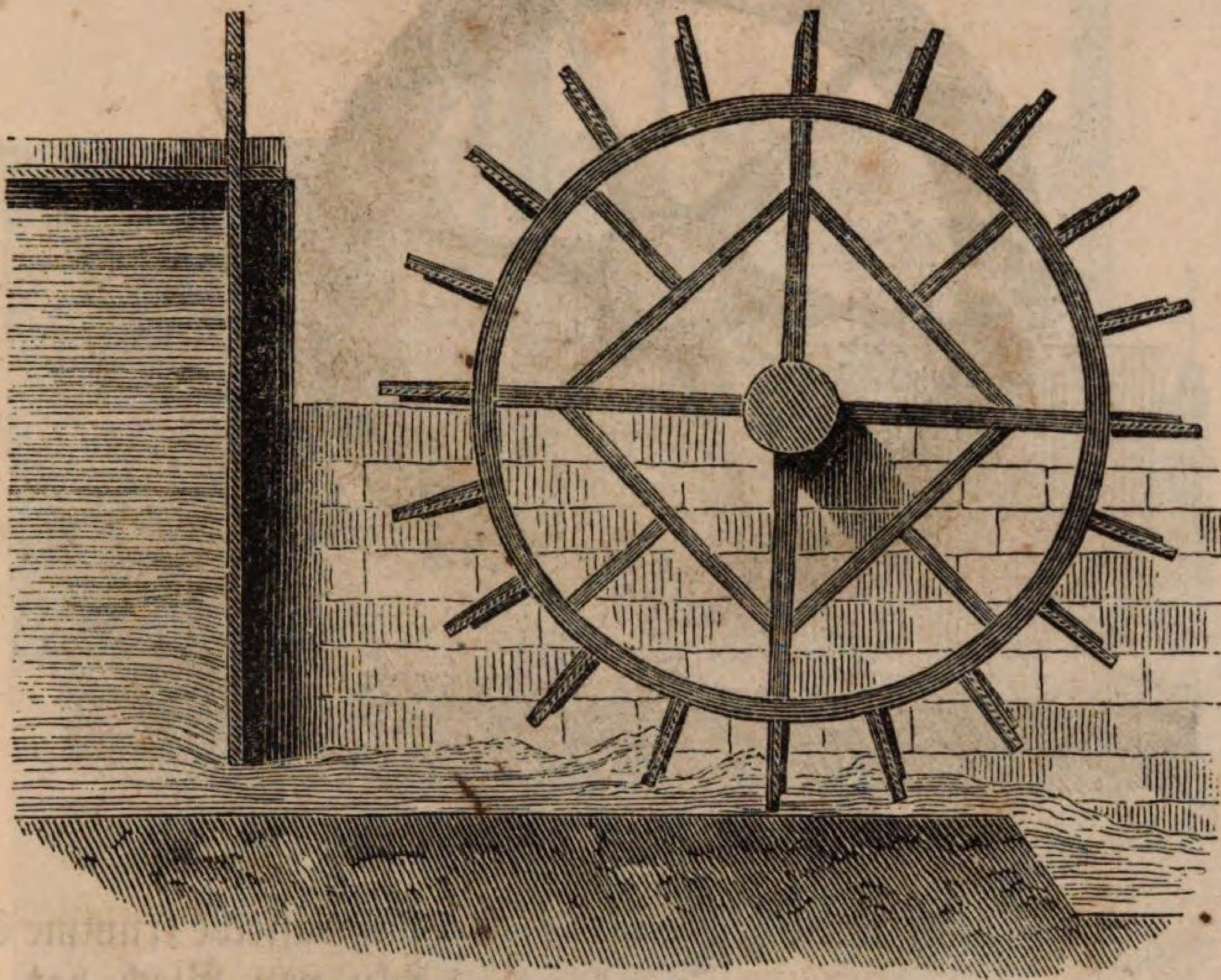
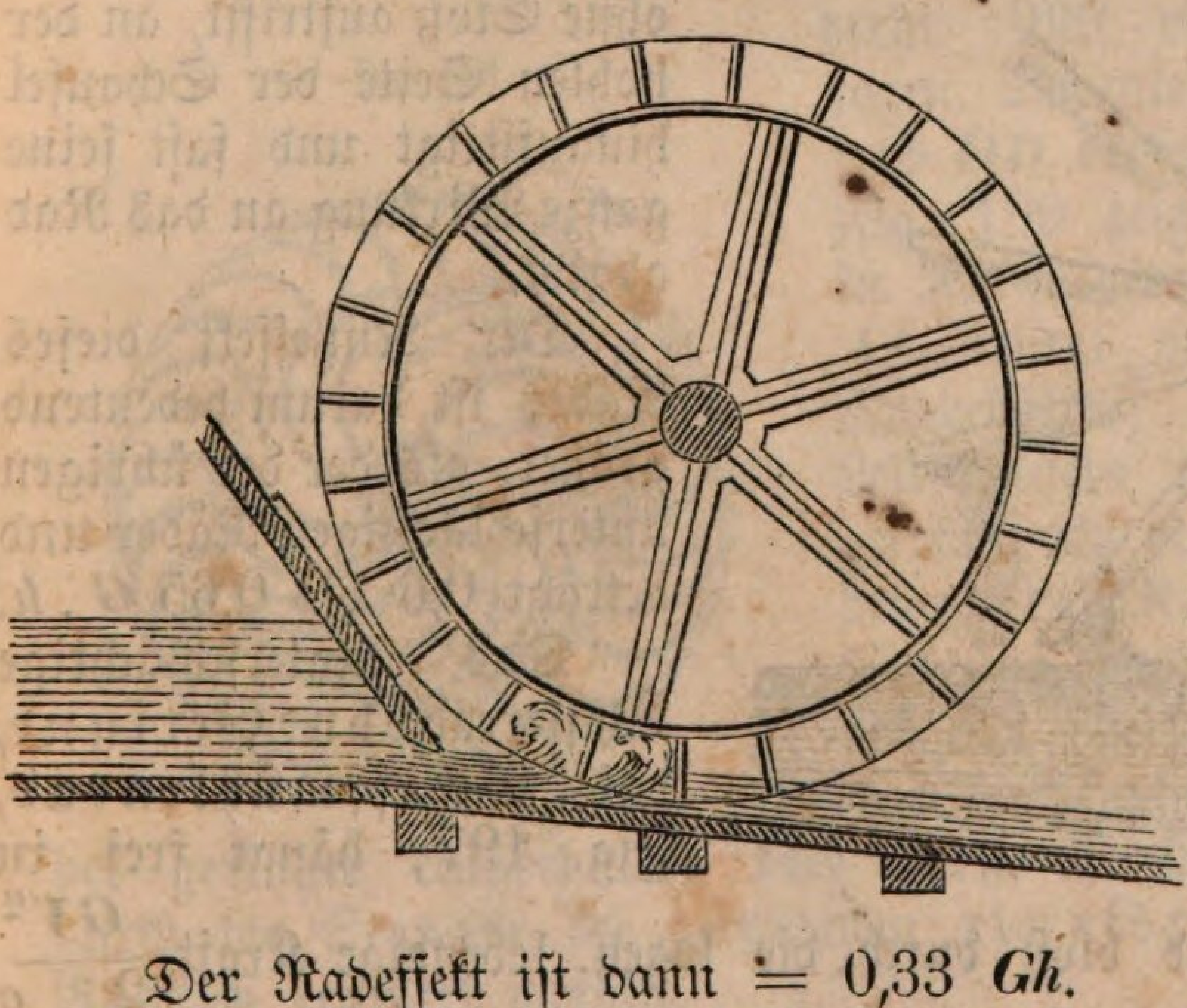


Fig. 195.



3) Bei den gemeinen unterschlächtigen Wasserrädern wird das Wasser entweder durch ein gerades oder wenig geneigtes sogen. Schnurgerinne dem Rad zugeführt, wie in Fig. 194 und 195, und es ist dann das sogen. disponible Radgefälle die Höhe vom Wasserspiegel bis zur Mitte der Schutzöffnung.

Der Radeffekt ist dann = 0,33 Gh.

Oft ist auch ein, etwas gekrümmtes sogen. Kropfgerinne angebracht, und kann sich dann die Wirkung bis zu 0,5 $G.h$ steigern.

Dies ist namentlich bei **Poncelet's unterschlächtigem Rade** der Fall. — Dieses sehr zweckmäßig eingerichtete Wasserrad, Fig. 196, unterscheidet sich von dem gewöhnlichen unterschlächtigen Rade dadurch,

Fig. 196.

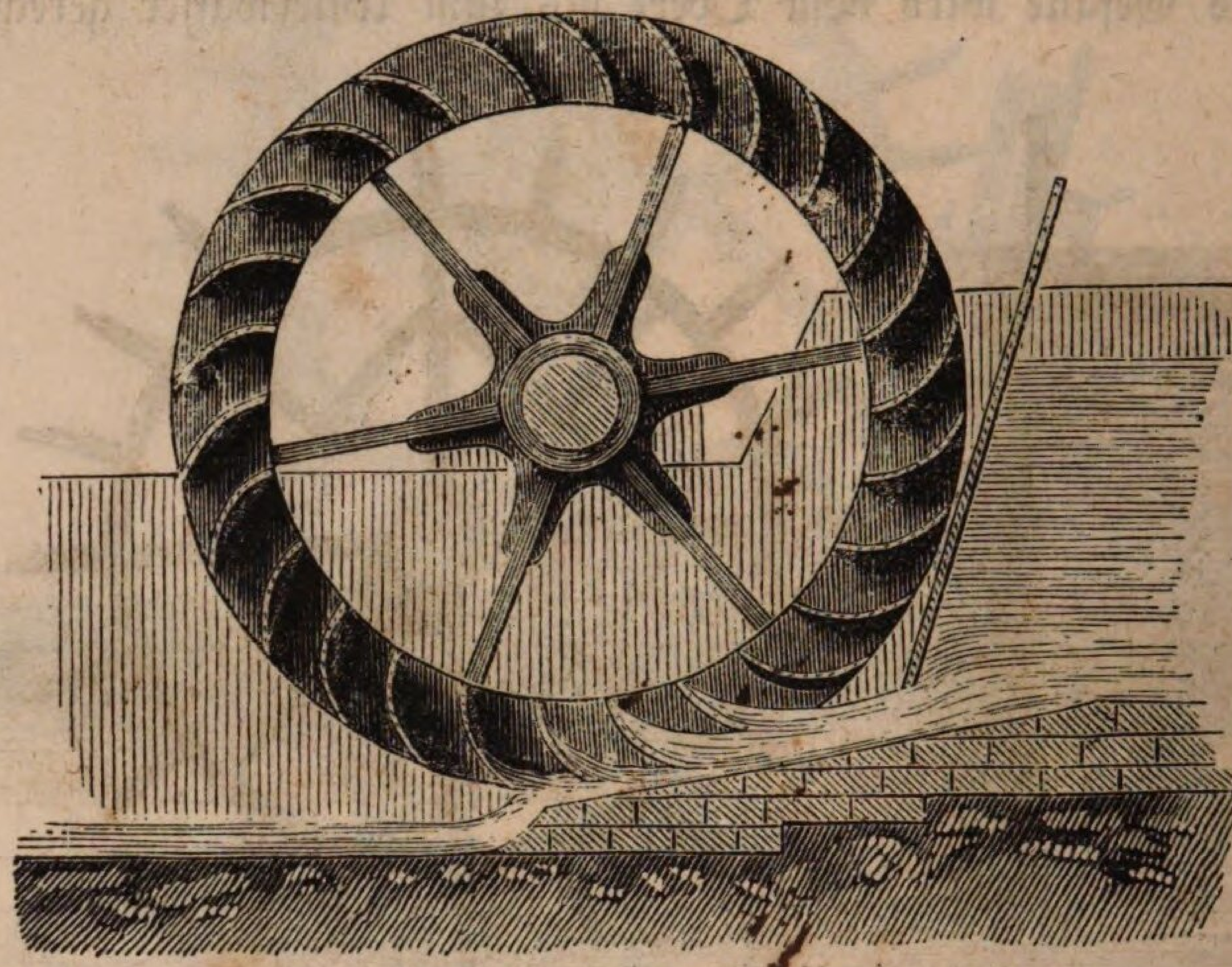
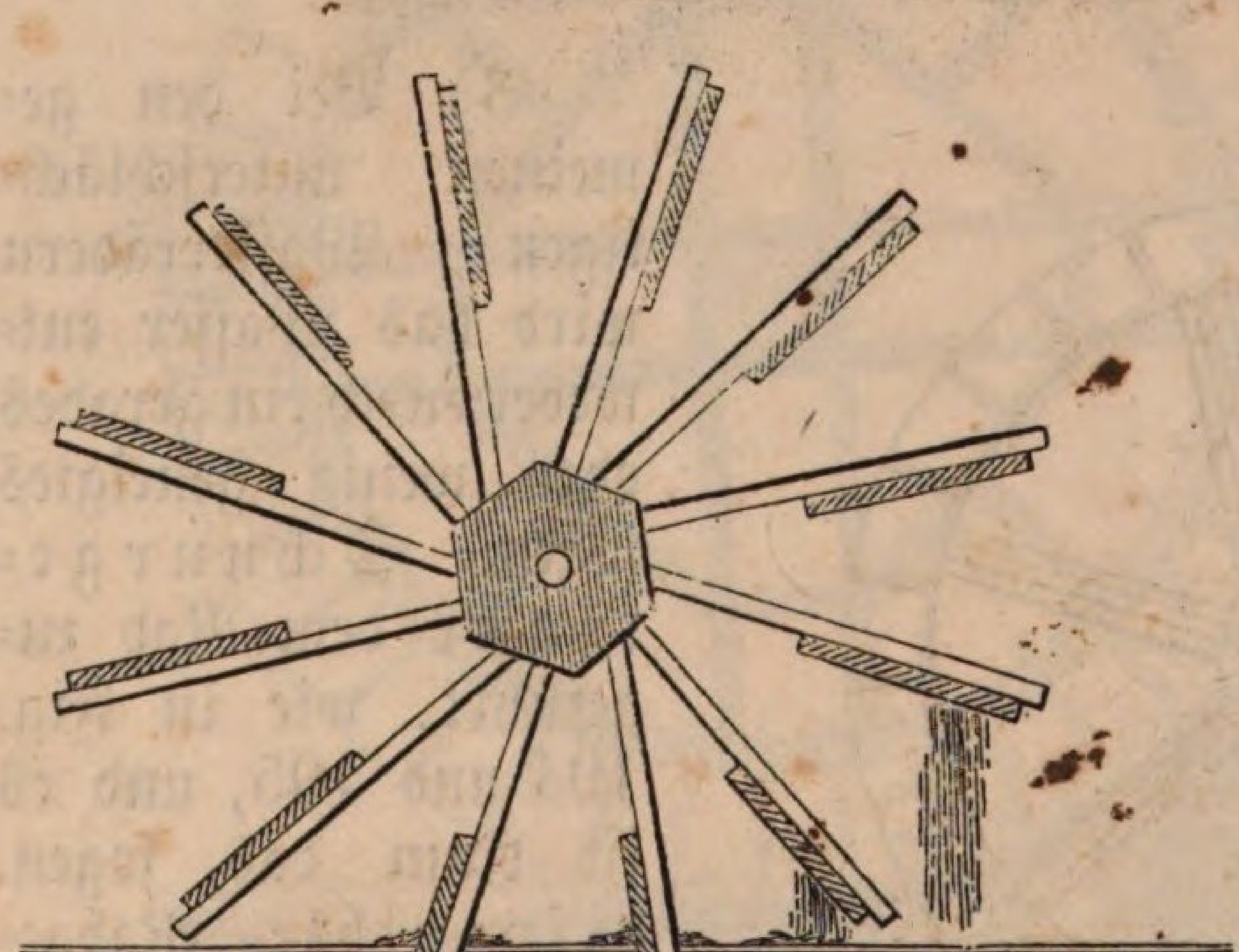


Fig. 197.



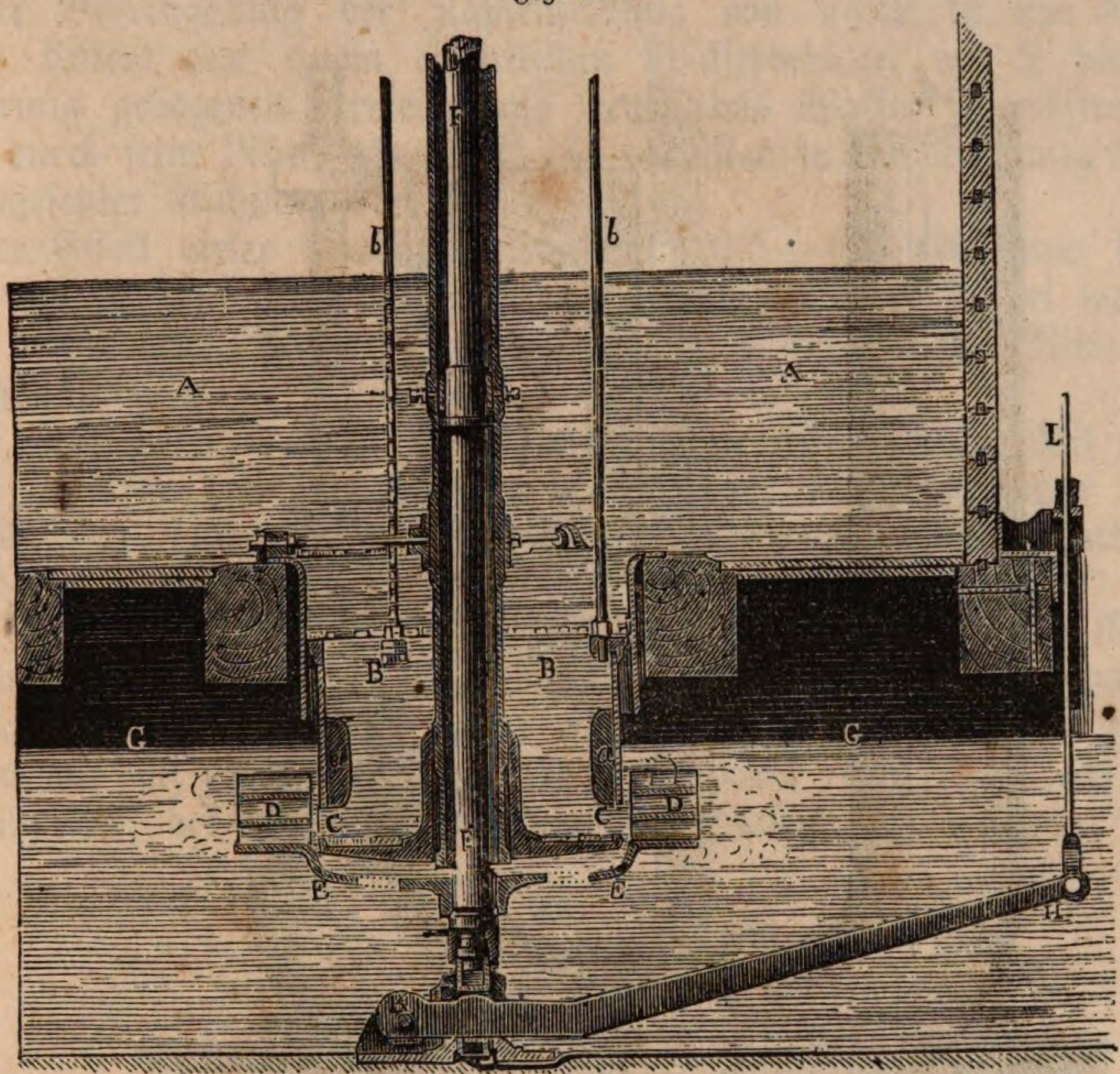
daß dasselbe krumme Schaufeln von Blech hat, welche verursachen, daß das Wasser ohne Stoß auftrifft, an der hohlen Seite der Schaufel hinaufsteigt und fast seine ganze Wirkung an das Rad abgibt.

Der Nutzeffekt dieses Rades ist darum bedeutend größer, als der der übrigen unterschlächtigen Räder und beträgt 0,6 bis 0,65 $G . h$.

Das unterschlächtige Wasserrad **ohne Gerinne**, das **Schiffmühlenrad**, Fig. 197, hängt frei in einem Strome und wird bloß durch die sogen. lebendige Kraft $\frac{GV^2}{2 . g}$ des in Bewegung begriffenen Wassers in Umdrehung versetzt. — Der Effekt dieses Rades beträgt nur 0,25 — 0,3 $G . h$.

4) Die Fourneyron'sche Turbine, Fig. 198 und 199, besteht aus einem feststehenden Leitschaufelapparat ***B***, der mit einem cylindrischen Rohr verbunden ist, in welchem sich die senkrechte Radwelle ***FF***

Fig. 198.



dreht. Mit dieser Welle ist durch den sogen. Bodenteller ***EE*** das Turbinenrad ***DD*** verbunden und umgibt, wie die Fig. 199 zeigt, den Leitschaufelapparat in Form eines Kranzes. Das Wasser ***AA*** dringt oben in den cylindrischen Radbehälter, wird durch die krummen Leitschaufeln ***B*** gegen die entgegengesetzt gekrümmten Radschaufeln ***D*** geleitet und bewegt das Rad ***DD*** in der angedeuteten Richtung. — Man sieht, wie das Wasser auf alle Theile des Rades zugleich wirkt, was verursacht, daß die Maschine schon bei geringer Ausdehnung doch große Wirkung hat. Vermittelst der durch die Stangen ***bb*** getragenen ringförmigen Schütze kann der Ausfluß regulirt werden.

Fig. 199.



Das Rad geht sowohl über, als auch unter Wasser. Im ersten Fall ist der Abstand des Oberwassers bis zur Mitte der Radkanäle als

Gefälle zu rechnen. Im andern Fall aber ist das Gefälle gleich dem Abstande des Ober- unter Unterwassers.

Der Nutzeffekt der Fourneyron'schen Turbine beträgt 0,6—0,75 *Gh*.

Fig. 200.

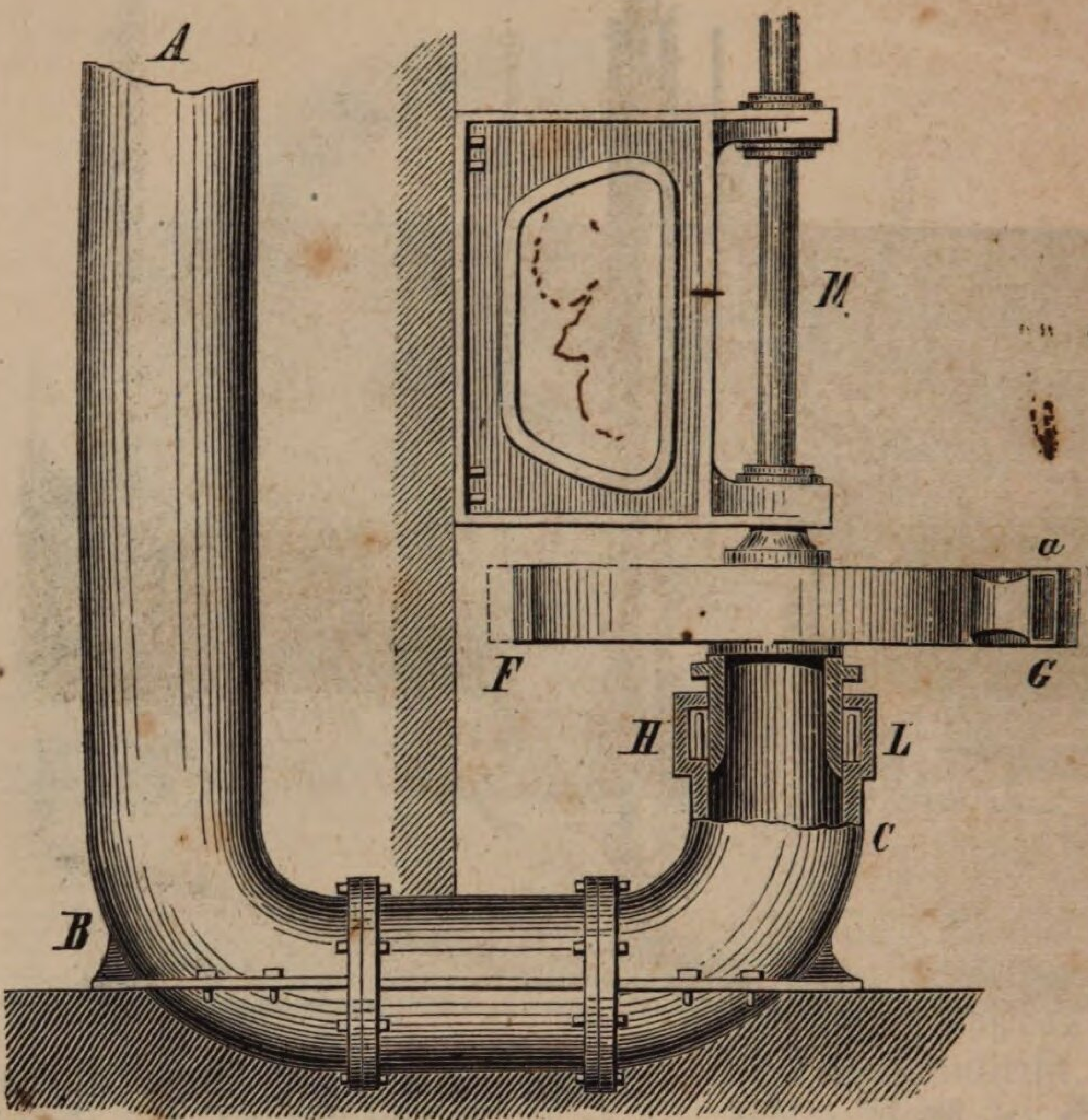
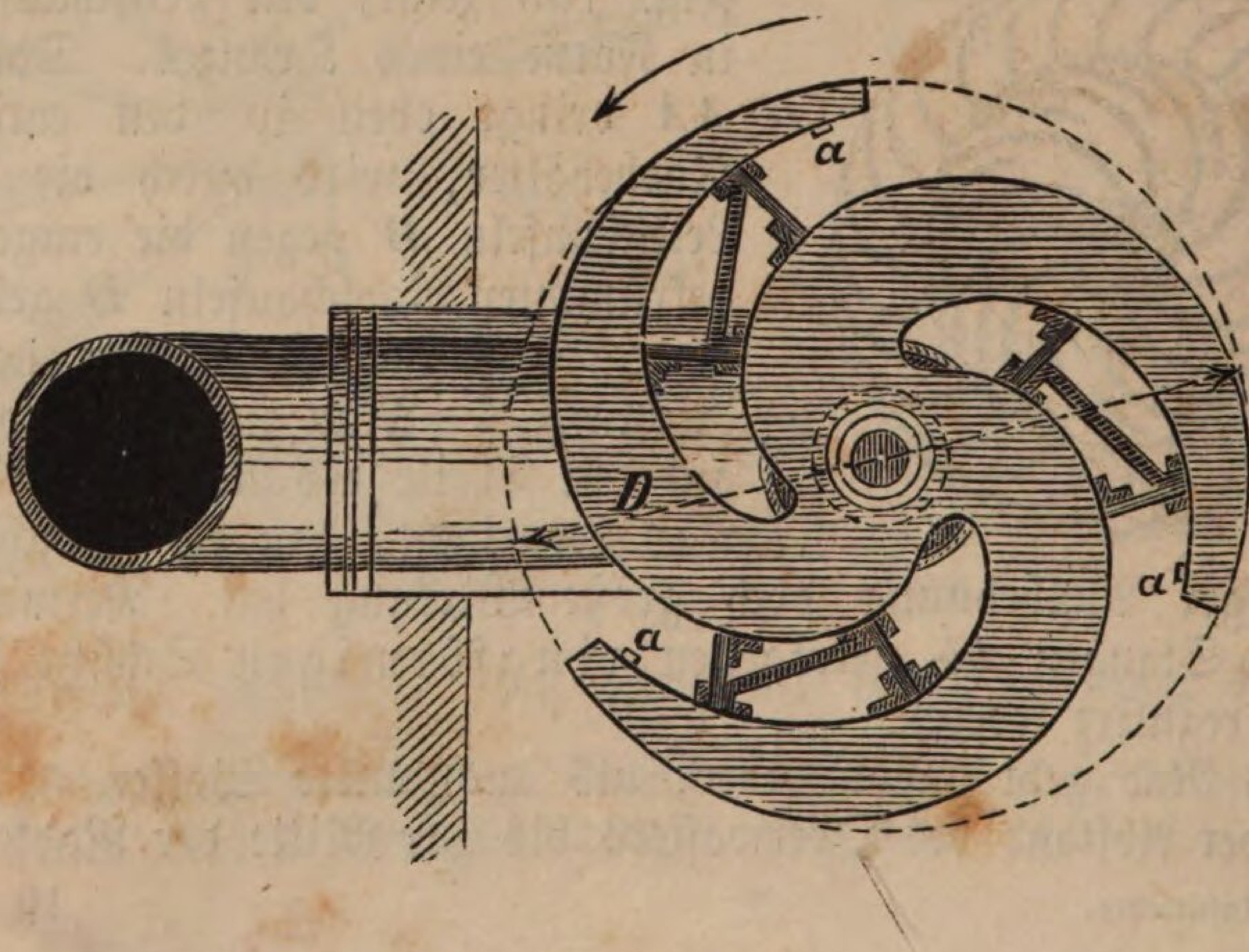


Fig. 201.



5) Die schottische oder Whitelaw'sche Turbine, Fig. 200 und 201 ist ein sogen. Reactionsrad. Das Wasser tritt durch eine Einfallröhre, und zwar von oben, oder auch — wie in der Abbildung — behufs der Verringerung der Zapfenreibung von unten in das Rad. Letzteres besteht aus einem eigentlichen Wasserbehälter mit 2 bis 4 spiralförmig gebogenen Armen, aus denen das Wasser so ausströmt, daß es durch seine Rückwirkung (B. 6) das Rad in eine Drehung nach entgegengesetzter Richtung versetzt.

Der Effekt dieser Turbine beträgt nur 0,5—0,6 ***Gh***, und ihre Anwendung ist keine ausgedehnte mehr. Am besten dient sie bei wenig Wasser und hohem Gefälle. Letzteres wird gerechnet bis zur Mitte der Ausflußöffnung ***a***.

6) Die Henschel-Jonval'sche Turbine, Fig. 202, 203 und 204 — erfunden von Henschel in Cassel und zuerst beschrieben von dem Franzosen Jonval — weicht von der Fourneyron'schen Turbine so ab, daß die festen Leitschaufeln ***BB*** über dem Turbinenrad ***CC*** angebracht sind. Jene sowohl, als die entgegengesetzt gekrümmten Radschaufeln bilden windschiefe Flächen. ***F*** ist die Radwelle. — Indem das Wasser durch das Rad geht, gleitet es auf den krummen Radschaufeln wie auf einer Schraubenfläche, übt dabei einen Druck auf die Schaufeln aus, der das Rad in Umdrehung versetzt.

Fig. 202.

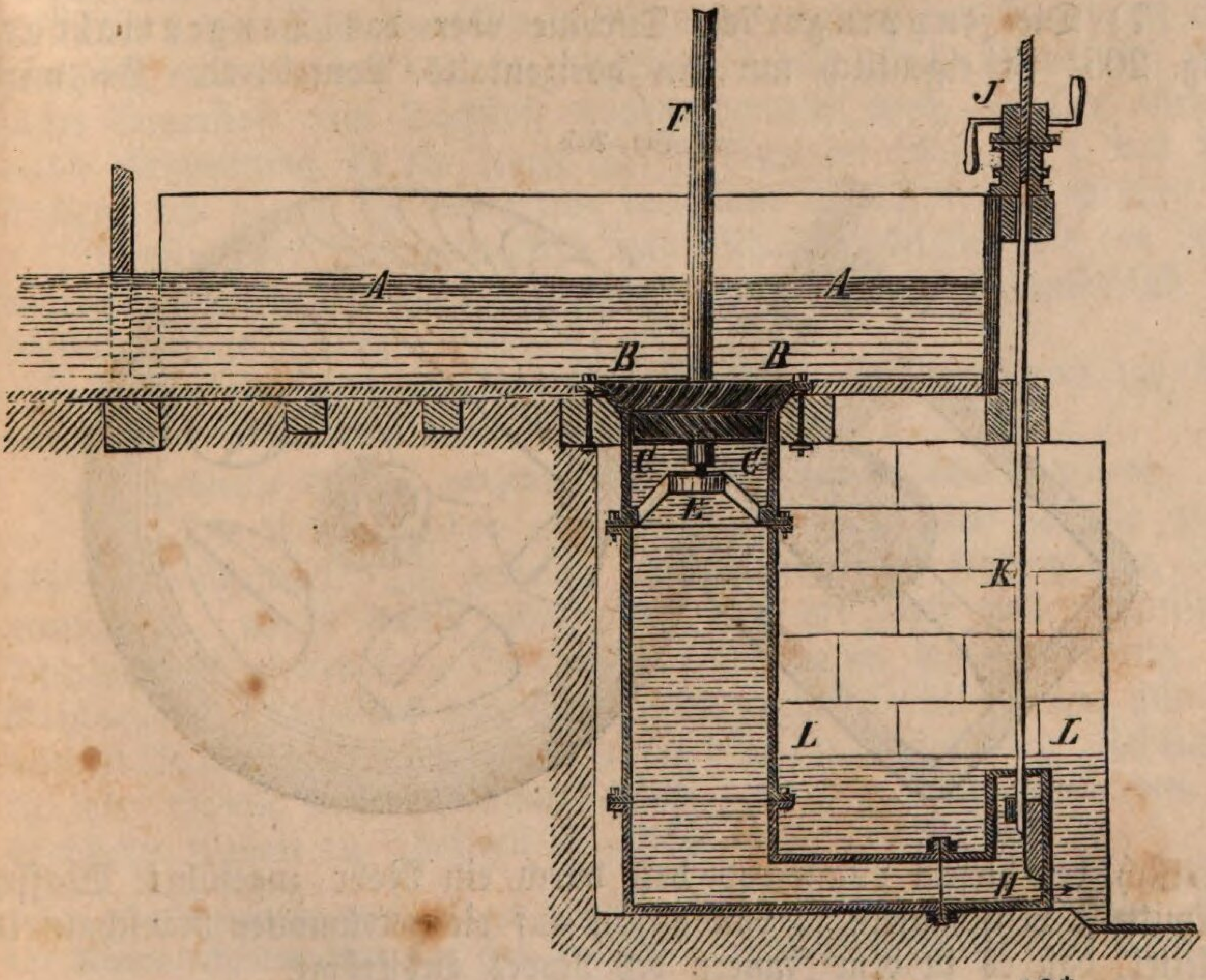


Fig. 203.

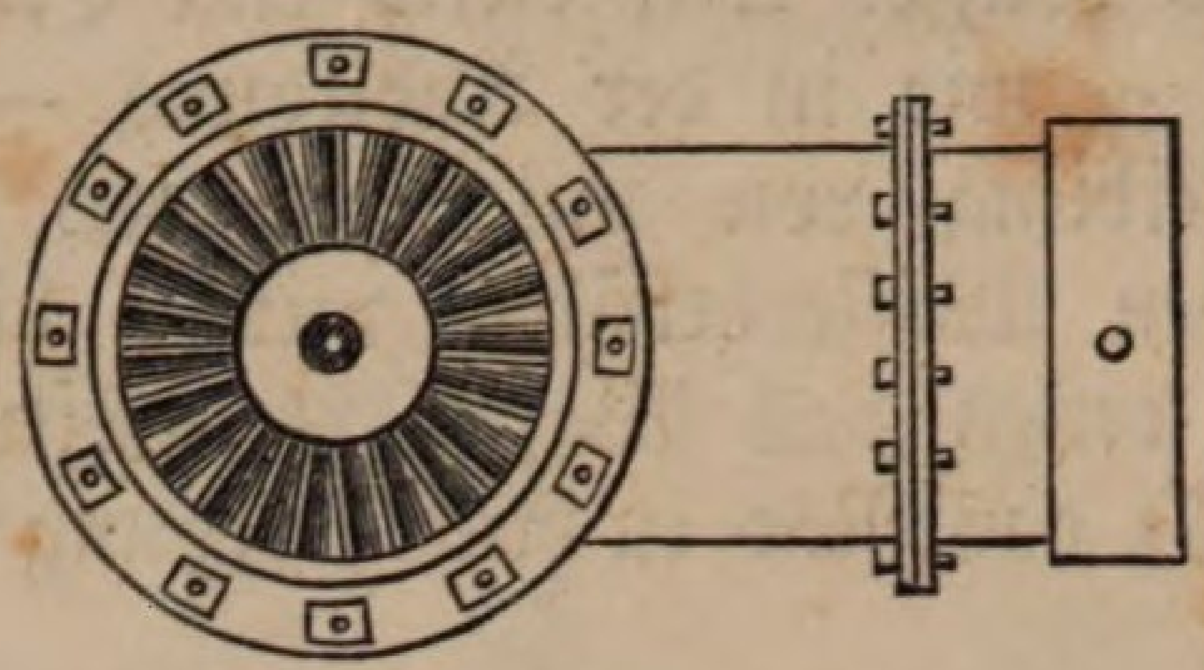
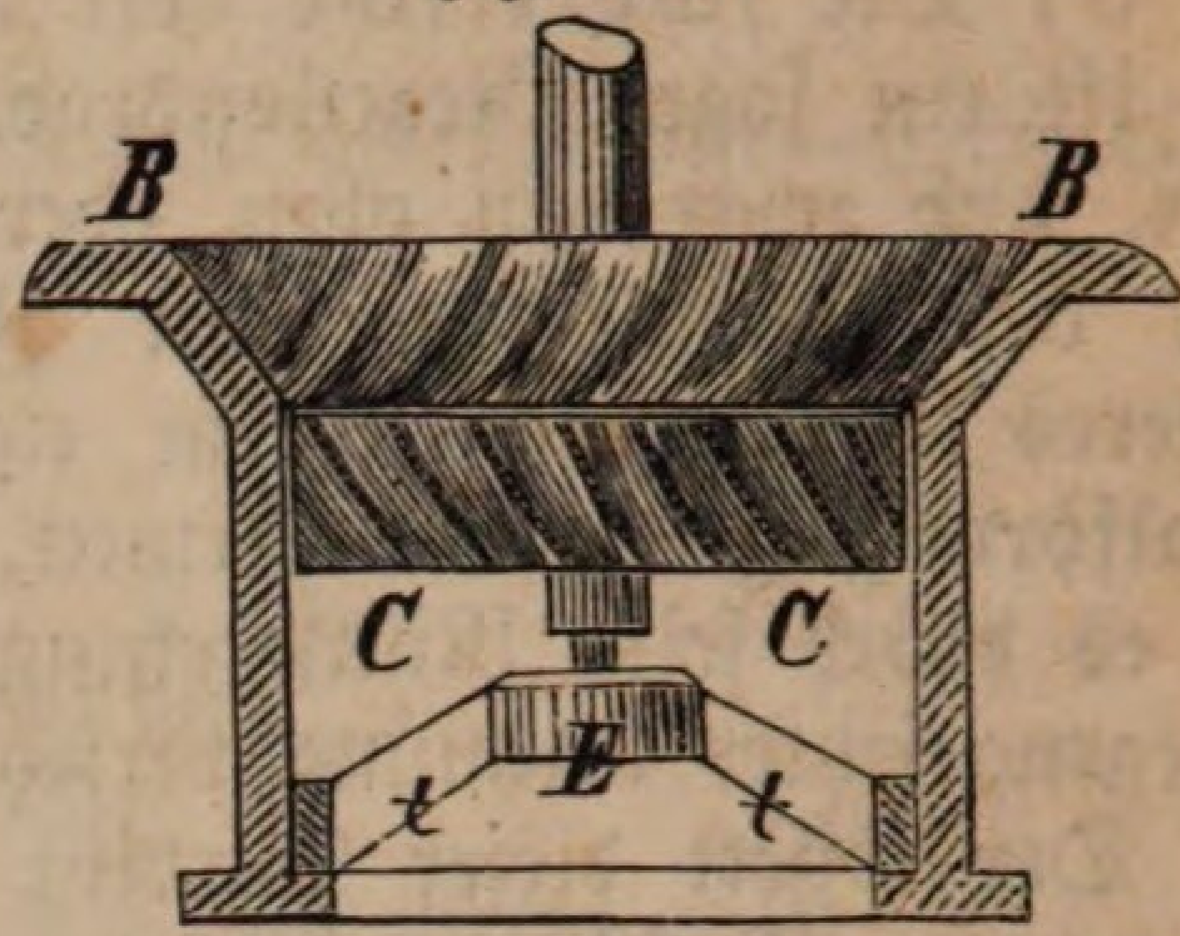


Fig. 204.



Eigenthümlich bei diesem Wasserrad ist, daß dasselbe in einem luftdichten Rohr angebracht wird, wodurch man erreicht, daß nicht nur das über dem Rade stehende Wasser durch seinen Druck, sondern auch das Wasser unter dem Rad durch Saugen, d. i. seinen Zug, wirkt. Die Schütze *H* ist dann am Ende dieses Rohres angebracht, und es ist ganz einerlei, wo man in dem Rohre das Rad anbringt, wenn nur der Abstand des Rades vom Unterwasser die Saughöhe (siehe folg. Abschn.) nicht übersteigt.

Das Rad bietet aus diesem Grund großen Vortheil; dasselbe steht aber auch vermöge seiner Wirkungsfähigkeit oben an und wird hierin nur vom oberschlächtigen Wasserrade erreicht; denn sein Nutzeffekt beträgt bis 0,8 $G \cdot h$. — Das nutzbare Gefälle wird vom Ober- bis zum Unterwasser gerechnet.

7) Die Zuppinger'sche Turbine oder das Tangentialrad, Fig. 205, ist eigentlich nur ein horizontales Ponceletrad. Es wird

Fig. 205.



nämlich bei diesem Wasserrad das durch ein Rohr zugeführte Wasser vermittelst Leitschaufeln so von außen auf die gekrümmten Radschaufeln geleitet, daß es in dem Innern des Rades ausströmt.

Die Anwendung des Tangentialrades ist erst in neuerer Zeit eine vielfältige geworden, da man es insbesondere für hohe Gefälle sehr geeignet fand. — Sein Nutzeffekt beträgt bis gegen 0,75 *G . h*.

8) Was die Anwendung der verschiedenen Systeme von Wasserrädern anbetrifft, so ist zu bemerken, daß man für ganz geringe Gefälle die unterschlächtigen Räder, für Gefälle bis 10 Fuß mittelschlächtige, und für höhere aber oberschlächtige Räder gebraucht. In den meisten Fällen kann man aber mit Vortheil die Turbinen, namentlich die Henschel-Jonval'sche verwenden. Die Turbinen haben auch noch den Vortheil, daß sie unter Wasser gehen; auch ist ihre Umdrehungsgeschwindigkeit eine viel größere, als bei gewöhnlichen Wasserrädern. Für sehr hohe Gefälle eignet sich das Tangentialrad am besten.

XII. Eigenschaften und Verhalten der elastischen Flüssigkeiten.

A. Eigenschaften der atmosphärischen Luft.

1) Die gemeine oder atmosphärische Luft umgibt die Erde wie eine Hülle — Atmosphäre (Dunstkreis). Sie ist kein Element, sondern zusammengesetzt, aber als bloßes Gemenge, aus 1 Gewichtstheil Sauerstoff und 4 Theil Stickstoff (21 Thl. und 79 Thl.).

Die Luft ist 770mal leichter als Wasser, durchdringt darum Ritzen und Wände. Man erkennt dies daran, daß in, mit Menschen gefüllten (aber nicht überfüllten) Räumen, obgleich der Sauerstoff eingeathmet wird, immer doch im Allgemeinen das gleiche Verhältniß zwischen Sauerstoff und Stickstoff wahrgenommen wird. — Der Grund dieser Erscheinung ist die sogen. Diffusion der Gase, d. i. das Bestreben, sich überall in einem und demselben Verhältniß zu mischen.

Einfluß der Baumaterialien und Bekleidungsstoffe, die den Luftdurchgang hemmen! Feuchte Mauern sind deßwegen hauptsächlich der Gesundheit nachtheilig.

Luft wahrgenommen durch das Gefühl, oft auch durch das Gehör; insbesondere aber durch ihre Wirkung.

Aufgekitteter Trichter, umgekehrtes Trinkglas, pneumatisches Feuerzeug.

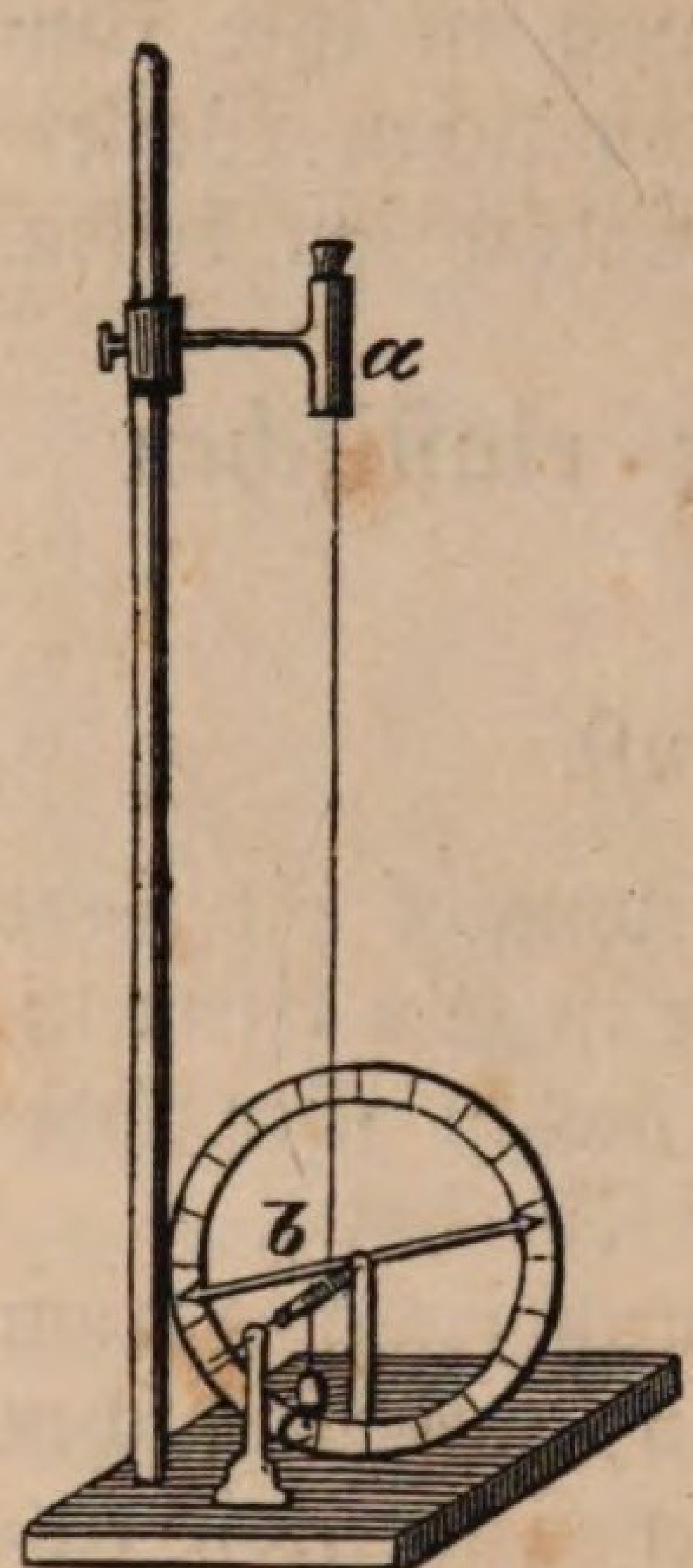
2) Die Atmosphäre umgibt die Erde auf eine gewisse Höhe (10—20 Meilen). Ist gemischt mit Wasserdampf, Kohlensäure, Ammoniakgas, etwas freiem Wasserstoff und oft auch mit organischen Theilen (Miasmen!!). So vielfach aber auch die Erzeugung der Kohlensäure (Athmung und Verbrennung) ist, so bildet diese mit den andern Beimischungen doch lange nicht 1 % der Atmosphäre. Uebrigens ist der Gehalt an Kohlensäure nach der Jahreszeit verschieden. — Größerer Gehalt in Theatern 2c. 8 % noch nicht tödtlich *).

*) Sämmtliche Kohlensäure der Atmosphäre würde eine etwa 8 Fuß hohe, der Ammoniakgehalt aber nur eine 2 Linien hohe Schichte um die Erde bilden.

Obgleich Sauerstoff und Stickstoff ungleich im Gewicht sind, so ist doch ihre Mischung in der Atmosphäre überall die gleiche. Der Grund hievon liegt wieder in der oben genannten Diffusion. — Einfluß des Windes.

Quellen und Verbrauch des Sauerstoffs (Pflanzen- und Thierreich). — Früherer Reichthum der Atmosphäre an Kohlensäure, — Folgen davon ein üppiger Pflanzenwuchs, aber keine höher organisirten Thiere.

Fig. 206.



Messung der Feuchtigkeit der Atmosphäre durch Hygrometer. Haare, Darmsaiten, Fischbein 2c. saugen Wasserdampf ein und werden dadurch länger. Fig. 206 ist ein Hygrometer aus Menschenhaar. Das untere Ende des Haares ist um eine Rolle *b* geschlungen, welche einen Zeiger trägt. Beim Verkürzen des Haares dreht sich die Welle mit dem Zeiger nach der einen Richtung, beim Verlängern aber bewirkt das angehängte Gewichtchen *c* eine entgegengesetzte Drehung.

Die Luft ist ihres Sauerstoffgehaltes wegen nothwendig zum Leben und Brennen. Verstärkter Luftzutritt befördert letzteres. — Gebläse.

3) Mechanische Eigenschaften der Luft: Gewicht und Elasticität.

Ein badischer Cubikfuß Luft wiegt in gewöhnlichem Zustande $\frac{54 \,.\, 32}{770} = 2{,}2$ Loth; d. i. 1 Cubikmeter = 1,3 ***Kg.***

Die Elasticität der Luft, wie in gewisser Beziehung die aller Gase ist ohne Grenzen. Ohne die Anziehung der Erde würde sich die Luft im Weltraume verlieren. Wegen der Elasticität sind die untern Luftschichten dichter und verdünnt sich die Luft nach oben mehr und mehr. In 18000′ Höhe nur noch ungefähr ½ Dichte.

Folgen beim Besteigen hoher Berge, bei Luftfahrten. Beweis mit einer mit Luft gefüllten Flasche in der Tiefe und Höhe. Beweis der Elasticität durch das pneumatische Feuerzeug, Luftkissen, Taucherglocke.

4) Erwärmte Luft ist dünner, leichter, da die Wärme alle Körper ausdehnt. Die Folge davon ist der Zug bei jeder Feuerstelle, bei Oefen, im Kamin, in den Lampencylindern 2c. Die heiße, leichte Luft steigt in die Höhe, dafür tritt kalte, schwerere an ihren Ort. Zug unter einer Thür, unten und oben entgegengesetzt (Licht!). Entstehung der Winde durch einseitige Erwärmung der Luft.

Durch Erwärmen kann in hohlen Körpern, Röhren 2c. die Luft so verdünnt werden, daß man kaum noch ein Vorhandensein derselben wahrnimmt; — der Raum wird leer.

5) Reaction und Auftrieb der Luft (Gase). Wie das Wasser, so wirken auch Luft und andere Gase rückwärts, wenn sie aus

einem Behälter, in welchem sie in einem gespannten (gepreßten) Zustande eingeschlossen waren, einseitig ausströmen. Darauf beruht die Wirkung der bei der Explosion des Pulvers entwickelten großen Gasmenge, ebenso das Steigen der Raketen; auch die sogen. Reaktionsdampfmaschinen haben den gleichen Grund.

Körper, die leichter sind, als Luft von gleichem Volumen, steigen in die Höhe, so Rauch, Wasserdampf 2c. — Darum auch erleidet jeder Körper in der Luft einen Gewichtsverlust, der so groß ist, als das Gewicht der gleichen Luftmenge, und es erfolgt also, wie im Wasser, immer ein Steigen und Sinken mit dem Ueberschuß des Gewichtes.

Fliegen ähnlich wie das Schwimmen. Eine hohle (große) und eine massive Kugel von gleichem Stoff, die in der Luft gleich schwer sind, sind es in Wirklichkeit — im leeren Raum — nicht, sondern die hohle ist schwerer. Ebenso Kugeln von Blei und Holz 2c.

Luftballons, gefüllt mit warmer (dünner) Luft, mit Wasserstoff- oder auch Beleuchtungsgas. Letzteres etwa ½ so schwer, als Luft; darum müssen die Ballons viel größer sein, als die mit Wasserstoff gefüllten. — Berechnung der Tragfähigkeit: Für je 1 Cubikfuß des Volumens = dem Unterschied des Gewichts der Luft und des eingeschlossenen Gases; also bei Beleuchtungsgas etwa 1 Loth per Cubikfuß.

B. Vom Luftdruck.

1) Da die Luft schwer ist, so übt sie auf alle Körper einen Druck aus. Dieser Druck wird aber nicht wahrgenommen, da er, wie bei allen Flüssigkeiten, allseitig ist. Wenn der Druck aber einseitig wirkt, so sieht man die Folgen sogleich, z. B. bei einem vollen zugespundeten Faß, bei einer mit dem Hals eingetauchten vollen Flasche, bei einem mit einem Papier bedeckten und umgekehrten vollen Trinkglas, bei einer angefüllten und oben zugehaltenen Glasröhre, bei einem ausgesaugten hohlen Schlüssel 2c.

Fig. 207.



2) Die Größe des Luftdruckes kann leicht gemessen werden. Füllt man nämlich eine etwa 3′ lange, überall gleich weite Glasröhre, deren eines Ende geschlossen ist und die durch Auskochen luftleer gemacht würde, mit Quecksilber und wendet die Röhren dann um, so fließt wohl einiges Quecksilber aus, eine Säule *ab*, Fig. 207, die beim gewöhnlichen Zustand der Atmosphäre etwa 28 pariser Zoll lang ist, bleibt aber zurück. Die Ursache dessen ist der Gegendruck der Luft; denn im leeren Raum fließt das Quecksilber aus. Dieses Instrument ist das Barometer (Toricelli † 1647).

Schwankungen, Sinken und Steigen des Barometers bei verändertem Luftdruck. Bei uns 2—3 Zoll; unter dem Aequator nur 3‴. — Sinken in der Höhe wegen geringeren Drucks. — Anwendung zum

Höhenmessen: Auf 1‴ ungefähr 75 pariser Fuß Erhebung. Correctur wegen der Temperatur! (Bei 18000′ Höhe Stand = 15″).

Mittlerer Barometerstand eines Ortes, im Tag, Monat, Jahr, oder überhaupt.

Erfordernisse und Construktion des Barometers. Gefäß-, Kugel- und Heberbarometer.

Das Barometer wird auch als Wetterglas angesehen. Obgleich der Wassergehalt der Atmosphäre entschiedenen Einfluß auf die Atmosphäre haben muß, so ist das Barometer im eigentlichen Sinne aber dennoch kein Wetterglas, da noch andere Einflüsse auf den Barometerstand einwirken.

3) Aus Vorigem ergibt sich nun, daß der mittlere Druck der Atmosphäre auf irgend eine Fläche gleich ist dem Drucke, d. i. dem Gewichte einer 28 pariser = 25⅓ bad. Zoll = einer 76 Centimeter hohen Quecksilbersäule.

Da aber das Quecksilber 13,6mal schwerer ist als Wasser, so kann man auch sagen: Der Luftdruck ist gleich dem Gewichte einer 13,6 . 0,76 = einer 10,336 Meter = einer 34,44 bad. Fuß = einer 32,84 rheinischen Fuß hohen Wassersäule.

Und da 1 Cubikmeter Wasser 1000 *Kg.* und 1 bad. Cubikfuß 54 Pfd. wiegt, so ist also der mittlere Atmosphärendruck = = 10336 *Kg.* auf 1 □Meter d. i. = 1 *Kg.* auf 1 □Centimeter.

Auf 1 bad. □′ aber ist der Atmosphärendruck = 1860 Pfd., d. i. auf 1 □Zoll bad. etwa 18½ Pfd.; — auf 1 □Zoll württ. = 17 Pfd.*)

Ein Druck von zwei Atmosphären ist also = 2 . 10336 *Kg.* auf 1 □Meter, oder = 2 . 1860 Pfd. auf 1 □′ bad.

4) Da die Luft sehr elastisch ist, so läßt sie sich zusammenpressen. Hiebei nimmt ihr Volumen gerade in dem Verhältnisse ab, also die Dichte zu, wie der ausgeübte Druck wächst. Und umgekehrt, da sich vollkommen elastische Körper mit der nämlichen Kraft wieder auszudehnen streben, mit der sie zusammengepreßt wurden, übt auch die Luft, die auf ½, ⅓ 2c. ihres ursprünglichen Raums zusammengepreßt wurde, nachher einen doppelten, dreifachen 2c. Druck aus.

Die Spann- oder Expansivkräfte der Gase und Dämpfe nehmen also in dem nämlichen Verhältniß zu, wie ihr Volumen durch Zusammenpressung abnimmt.

Diesen Satz nennt man das Mariotte'sche Gesetz.

Anwendung bei Pumpen und Dampfmaschinen 2c.

5) Ebenso kann auch die Spannkraft einer eingeschlossenen Gasmenge dadurch erhöht werden, daß man sie erwärmt. Und zwar nimmt bei gleichem Volumen die Spannkraft bei der Erwärmung um je 1° *C.* um 0,00367 der vorherigen zu. — Gay-Lussac'sches Gesetz.

*) Atmosphärendruck in anderen Landesmaßen s. Anh.

Im gleichen Verhältniß nimmt mit der Erwärmung das Volumen zu, wenn die Spannung die nämliche bleibt. — Berechnung der Spannung einer eingeschlossenen Gasmenge für irgend eine Temperatur, wenn die Spannung bei einer bestimmten Temperatur bekannt ist.

Fig. 208.

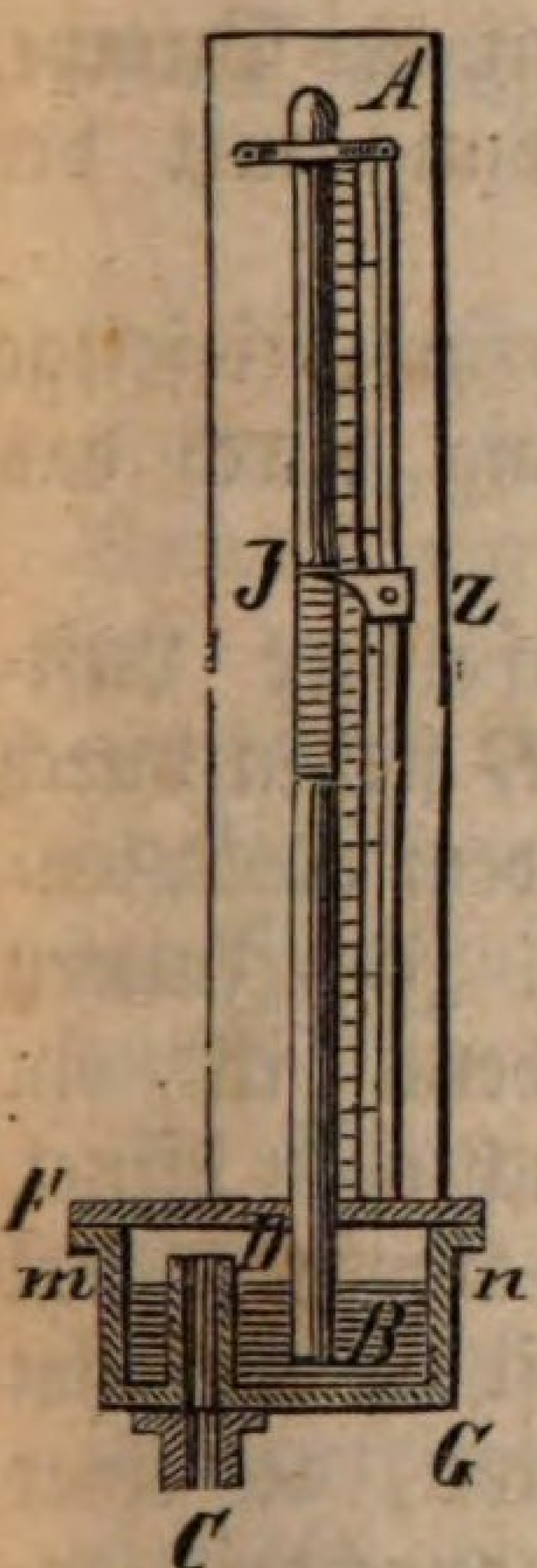
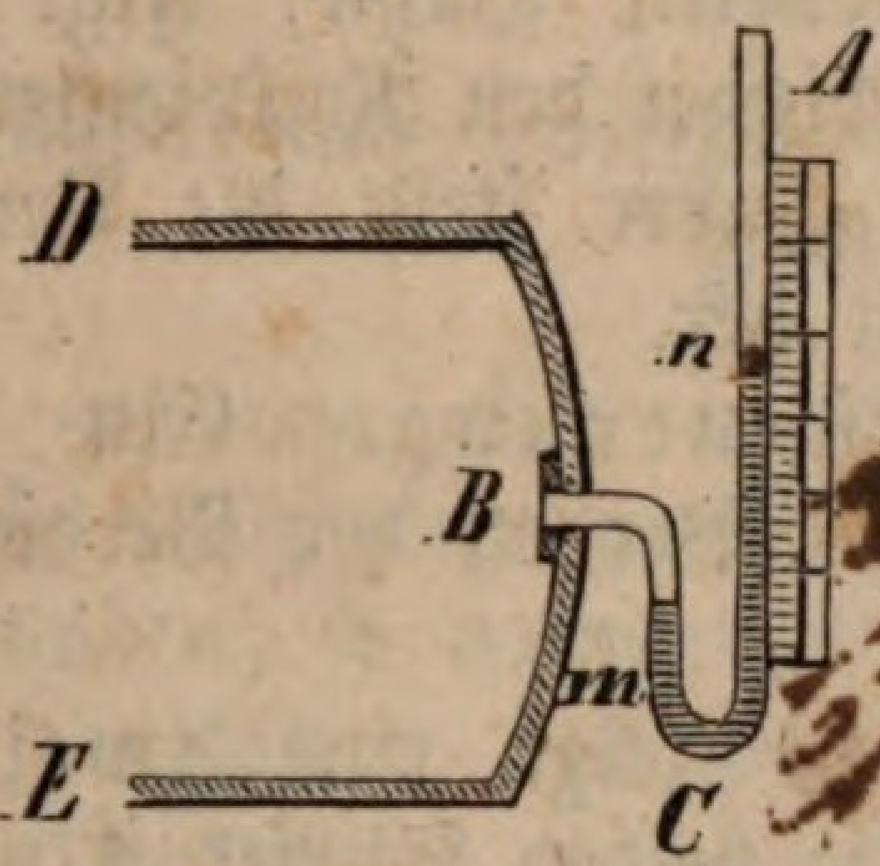


Fig. 209.



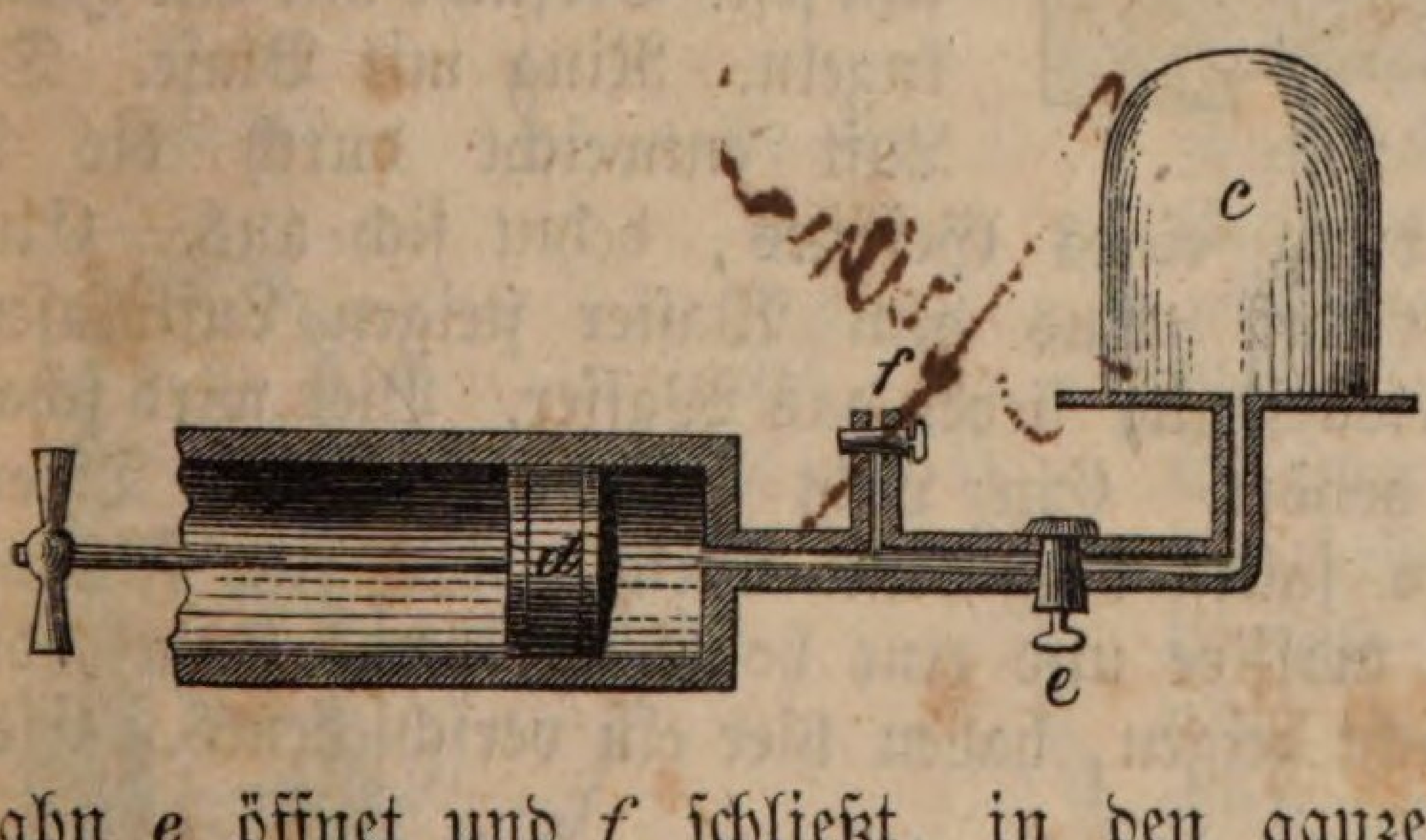
6) **Messung höherer Spannungen der Gase.** Dies geschieht durch sogen. **Manometer.** — Entweder sind solche gerade wie ein Barometer eingerichtet, so Fig. 208, bei welchem das zu messende Gas durch *C* in das Gefäß *FG* einströmt.

Oder das Manometer ist oben offen, wie Fig. 209. Da dort die äußere Luft entgegenwirkt, so gibt der Unterschied des Quecksilber- oder Wasserstandes in beiden Schenkeln den **Ueberdruck** des Gases über den Atmosphärendruck an. — Beim Beleuchtungsgas ist dieser Ueberdruck in den Leitungsröhren gewöhnlich 1½—2 Zoll Wasser. Ein Ueberdruck von 1 Zoll Quecksilber wäre ein solcher von 1/28 Atmosphären, da 28 Zoll Quecksilber den Luftdruck darstellen.

Bei dem sogen. **Luftmanometer** ist die Manometerröhre oben geschlossen und mit Luft angefüllt. Ist die ursprüngliche Luftsäule auf die halbe Höhe zusammengepreßt, so zeigt dies nach Satz 4 die doppelte Spannung des zutretenden Gases an.

7) **Herstellung eines luftleeren Raumes.** Dieses geschieht entweder durch Erhitzen, wobei die Luft stark verdünnt wird; noch mehr aber durch Aussaugen, Auspumpen der Luft — durch die **Luftpumpe.**

Fig. 210.

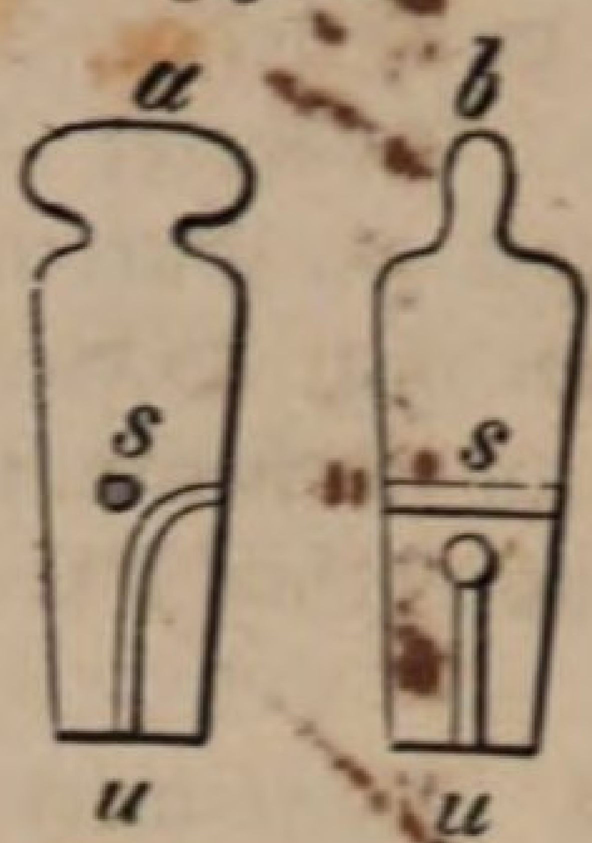


Die einfachste Luftpumpe (O. v. Guerike 1650) zeigt Fig. 210. In dem sogen. Pumpenstiefel bewegt sich der Kolben *d* luftdicht. Geht derselbe zurück, so wird die in dem **Recipienten** *c* befindliche Luft ausgesaugt, indem sich dieselbe, wenn man den Hahn *e* öffnet und *f* schließt, in den ganzen Raum bis unter den Kolben ausdehnt. Macht der Kolben die entgegengesetzte Bewegung, so schließt man den Hahn *e* und öffnet *f*; es wird also dann die aus dem Recipienten gesaugte Luft in die Atmosphäre gestoßen. Schließt

man *f* wieder und öffnet *e* und zieht den Kolben auf's Neue zurück, so dehnt sich die noch zurückgebliebene Luft wieder in einen größern Raum aus u. s. f.; — es wird also am Ende nur noch eine Luft von äußerst geringer Dichte vorhanden sein.

Statt zweier Hahnen wendet man auch den Senguerd'schen doppelt durchbohrten Hahn, Fig. 211, an. Der Kanal *s* verbindet den Recipienten mit der Pumpe, der Kanal *u* aber stellt die Verbindung mit der äußern Luft her.

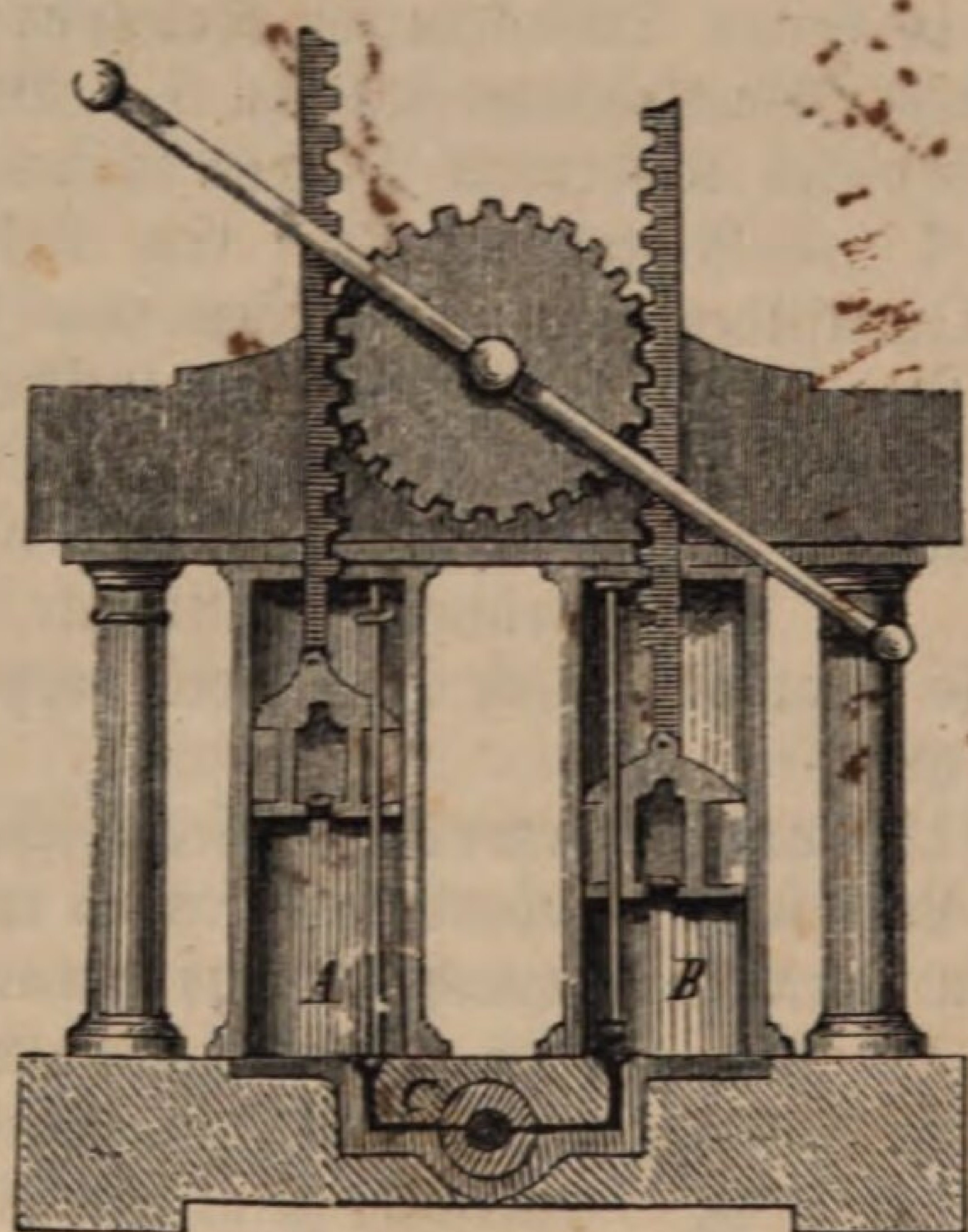
Fig. 211.



Selbststeuerung. Ein- und zweistiefelige Pumpen. — Proben der Verdünnung durch das Barometer.

Fig. 212 zeigt eine zweistiefelige Luftpumpe. Die beiden Stiefel *A* und *B* stehen durch die Röhre *C* mit dem Recipienten in Verbindung. Im Innern eines jeden Kolbens ist ein Ventil, das sich nach oben öffnet, wenn der Kolben abwärts geht und auf die Luft unter ihm preßt. Ein anderes, an einer langen, den Kolben durchdringenden Stange angebrachtes Kegelventil schließt dann die nach dem Recipienten führende Röhre *C* ab, öffnet dieselbe aber beim Steigen des Kolbens, d. i. beim Saugen der Pumpe.

Fig. 212.



8) Erscheinungen im luftleeren Raum: Das Barometer sinkt. Der Recipient sitzt fest. Versuche mit den Halbkugeln. Ring mit Blase. Die Luft entweicht durch die in Wasser eingetauchte Mündung eines Gefäßes, dehnt sich aus. Eine zugebundene Blase schwillt auf. Aus dem Wasser steigen Luftblasen, und bei nur schwacher Erwärmung siedet das Wasser. Bier wird schal. Der Schall wird nicht gehört. Ein Licht erlischt sogleich. Thiere sterben. In der Fallröhre fallen ein Stück Metall und eine Flaumfeder gleich schnell. Eine massive und eine hohle (größere) Kugel, die in der Luft gleiches Gewicht zeigen, haben hier ein verschiedenes. Eisdarstellung 2c.

9) Verstellt man oben Fig. 210 die Hähne *e* und *f* in umgekehrter Ordnung, so wird in *f* Luft von außen eingesaugt, und, wenn *f* dann geschlossen und *e* geöffnet wird, beim Vorwärtsgehen des Kol-

bens in den aufgeschraubten Recipienten *c* gepreßt und dort verdichtet oder comprimirt. Man hat dann die Compressionspumpe.

In comprimirter Luft steigt das Barometer, der Schall wird stärker, ein Licht brennt fort, eine volle zugebundene Blase wird kleiner, das Thermometer gibt eine Steigerung der Temperatur an ꝛc.

C. Erscheinungen und Vorrichtungen die sich auf den Luftdruck gründen.

1) Außer zu den eben in Satz 8 genannten wissenschaftlichen Zwecken, hat die Luftpumpe zunächst auch in der Industrie mancherlei Anwendung gefunden, so namentlich in den Zuckersiedereien, Färbereien, bei der Papierfabrikation, zu Pressen, Rammen, Krahnen, bei der atmosphärischen Eisenbahn ꝛc. — Dabei wird entweder durch Wegschaffen der Luft ein leichteres Verdampfen, ein leichteres Eindringen der Farbstoffe ꝛc. oder das Trocknen ermöglicht; oder aber es wird durch den einseitigen Luftdruck eine gewisse bewegende Kraft erzeugt.

Sodann lassen sich durch die Wirkung eines einseitigen Druckes oder der Schwere der Luft erklären: das Saugen, Rauchen, Athmen, die Wirkung des Stech- und Saughebers, des Zauberbechers und Zaubertrichters, der verschiedenen Arten Pumpen, der Wasserspritze, der Gebläse, das Erscheinen periodischer Seen, die Wirkung der Schröpfköpfe, die Befestigung des Schenkelknochens ꝛc.

Auf den vermöge der Elasticität der Luft ausgeübten Druck gründen sich: Die Wirkung des Heronsballs, Windkessels, Heronsbrunnens, des cartesianischen Tauchers, die Knall- und Windbüchse, ferner auch die Anwendung von Luftkissen und Lufträdern. Auch gehört hieher die Wirkung des Schießpulvers und der Schießbaumwolle, wobei eine außerordentlich bedeutende Gasentwicklung stattfindet.

2) Der Stechheber ist eine gerade, in der Mitte erweiterte, der Saugheber aber eine gebogene Röhre. Wird jener mit Flüssigkeit angefüllt oder voll gesaugt (Pipette) und oben mit dem Finger zugehalten, so fließt nichts heraus. — Der Saugheber, Fig. 213, dient zum Entleeren eines mit Flüssigkeit angefüllten Gefäßes. Die Flüssigkeit fließt so lange in das andere Gefäß über, als hier der Flüssigkeitsstand niederer ist, als im erstern Gefäße. Für Flüssigkeiten, die man nicht in den Mund bringen darf, wird wie in Fig. 214 noch ein besonderes Saugrohr angebracht.

Fig. 213.

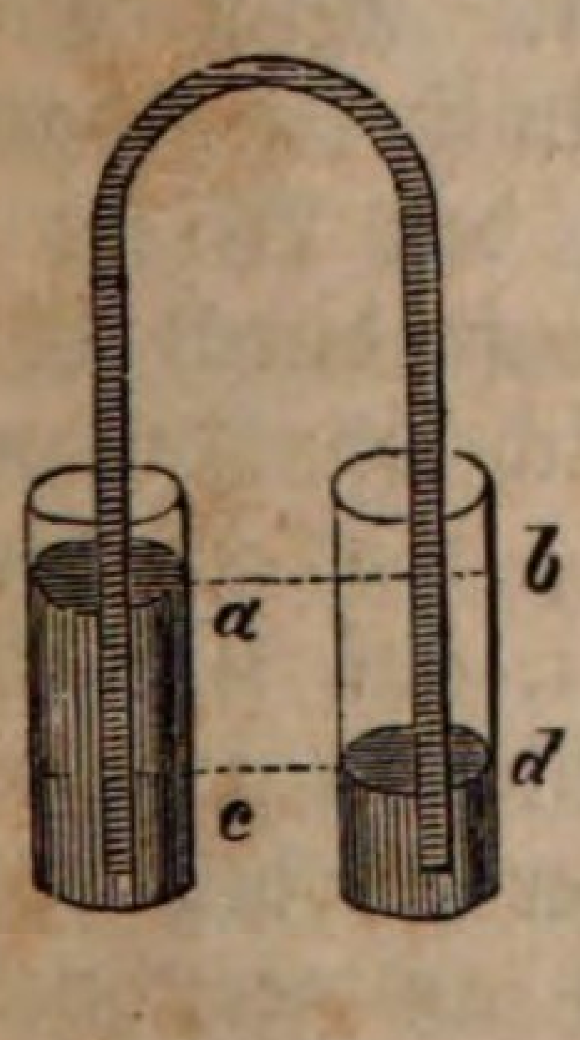
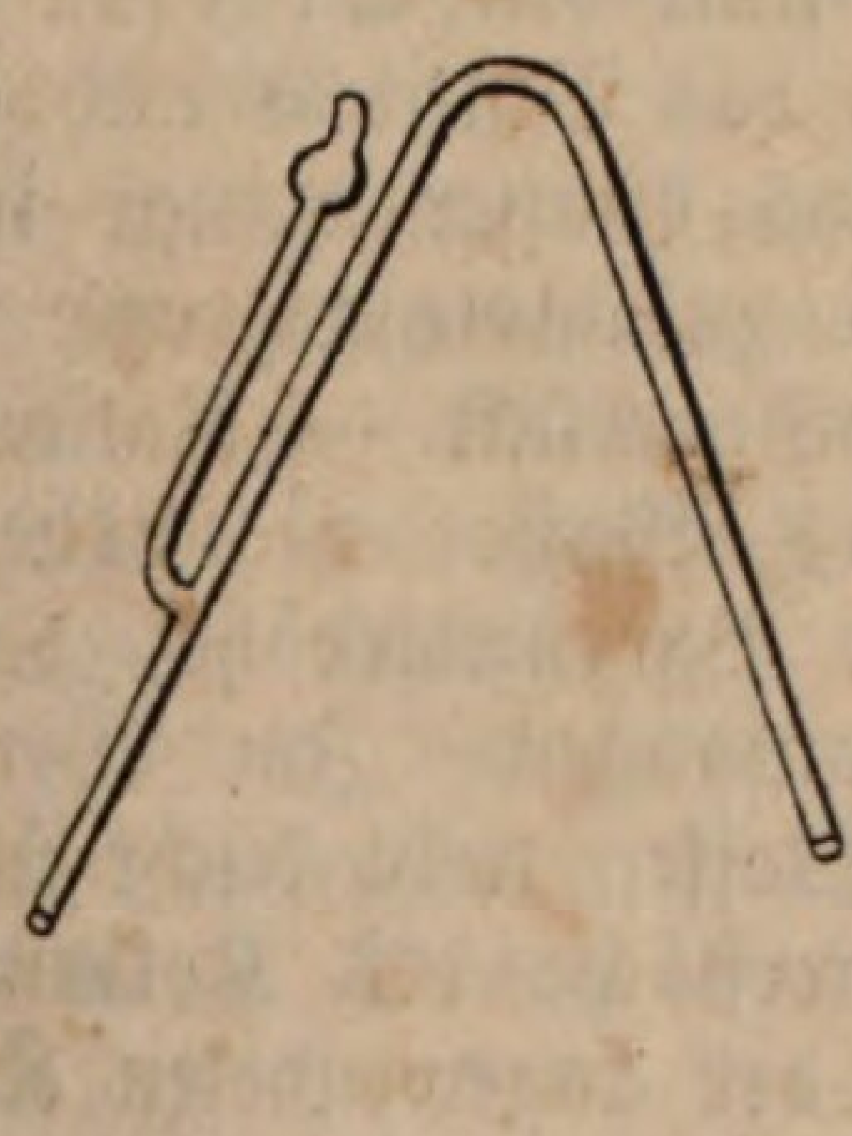


Fig. 214.



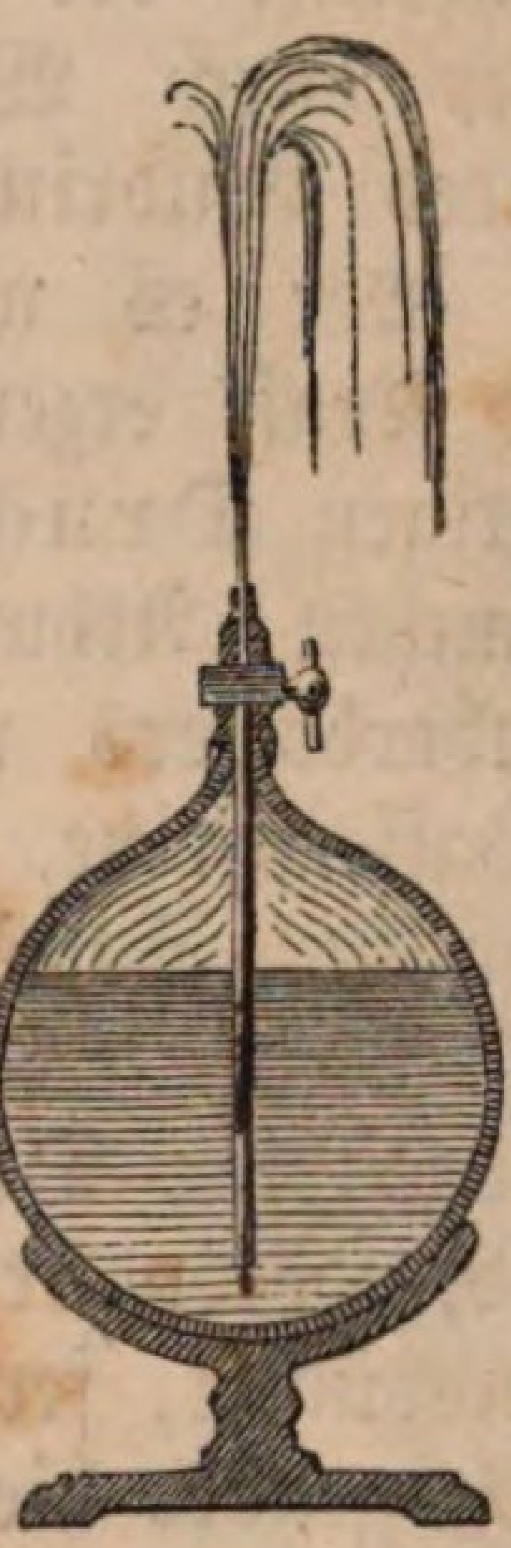
Der Zauberbecher hat zwischen einer doppelten Wand einen

verborgenen Saugheber, dessen Einmündung im tiefsten Punkt der Höhlung des Bechers ist. — Der Zaubertrichter ist ebenfalls doppeltwandig und wirkt wie ein Stechheber.

Die periodischen Seen entstehen durch die Wirkung heberartig gebildeter unterirdischer Kanäle. Die Schröpfköpfe sitzen fest, da vorher die Luft aus denselben durch Erwärmung ausgetrieben wurde. Ebenso werden unsere Beine eigentlich durch den Luftdruck getragen, da der Raum im Gelenke des Schenkelknochens luftleer ist (Versuche darüber; Folgen beim Besteigen hoher Berge).

Der Heronsball, Fig. 215, wie der Windkessel einer Pumpe ist ein verschlossenes Gefäß, in welchem eine Röhre bis nahe an den Boden reicht. Wird Wasser mit Gewalt in das Gefäß gedrückt, so wird die vorhandene Luft zusammengepreßt und wirkt dann auf das Wasser zurück und treibt es durch das Rohr in die Höhe. Aehnlich wirkt der Heronsbrunnen. — Der cartesianische Taucher wird schwer und sinkt, wenn Wasser in dessen hohlen Raum gepreßt wird, entleert sich aber wieder und steigt, wenn der Druck aufhört. — Bei der Knall- und Windbüchse wirkt die verdichtete, zusammengepreßte Luft auf einen Pfropfen oder eine Kugel. Bei der Windbüchse entweicht die Luft nur theilweise, da das durch den Hahn zurückgeschlagene Ventil vermöge der Wirkung eine Stahlfeder sogleich wieder zurück geht und den weitern Luftabfluß hemmt. Darum sind mehrere Schüsse mit einer Ladung möglich. — Luftkissen und Lufträder an Wagen, letztere von Cautschuk, wirken statt elastischer Federn.

Fig. 215.



3) Die Saug- und Druckpumpe. Dieselbe wirkt gerade, wie die Luftpumpe. Geht der Kolben *B*, Fig. 216, in die Höhe, so entsteht unter ihm ein luftleerer Raum, das Ventil *a* hebt sich durch den in *EE* auf das Wasser wirkenden Luftdruck, dieses steigt durch die Saugröhre *C* in die Höhe und füllt den Stiefel *A*. Beim Abwärtsgehen des Kolbens schließt sich das Ventil *a* und ein zweites das sogen. Druckventil *c* hebt sich. Das Wasser dringt in den Windkessel *D* und wird dort durch die zusammengepreßte Luft durch die Steigröhre *d* noch mehr in die Höhe gedrückt. — Natürlich könnte man mit der vollkommensten Pumpe das Wasser nie höher, als auf die durch eine Wassersäule ausgedrückte Barometerhöhe, d. i. auf 10,336 Meter = 34,44 bad. Fuß Höhe ansaugen. Im Wirklichkeit saugen aber auch die besten Pumpen das Wasser nicht leicht über 24 bis 28′ hoch. Die Druckhöhe von der Unterfläche des Kolbens an gerechnet dagegen hängt blos von der Größe der angewendeten Kraft ab.

Fig. 216.

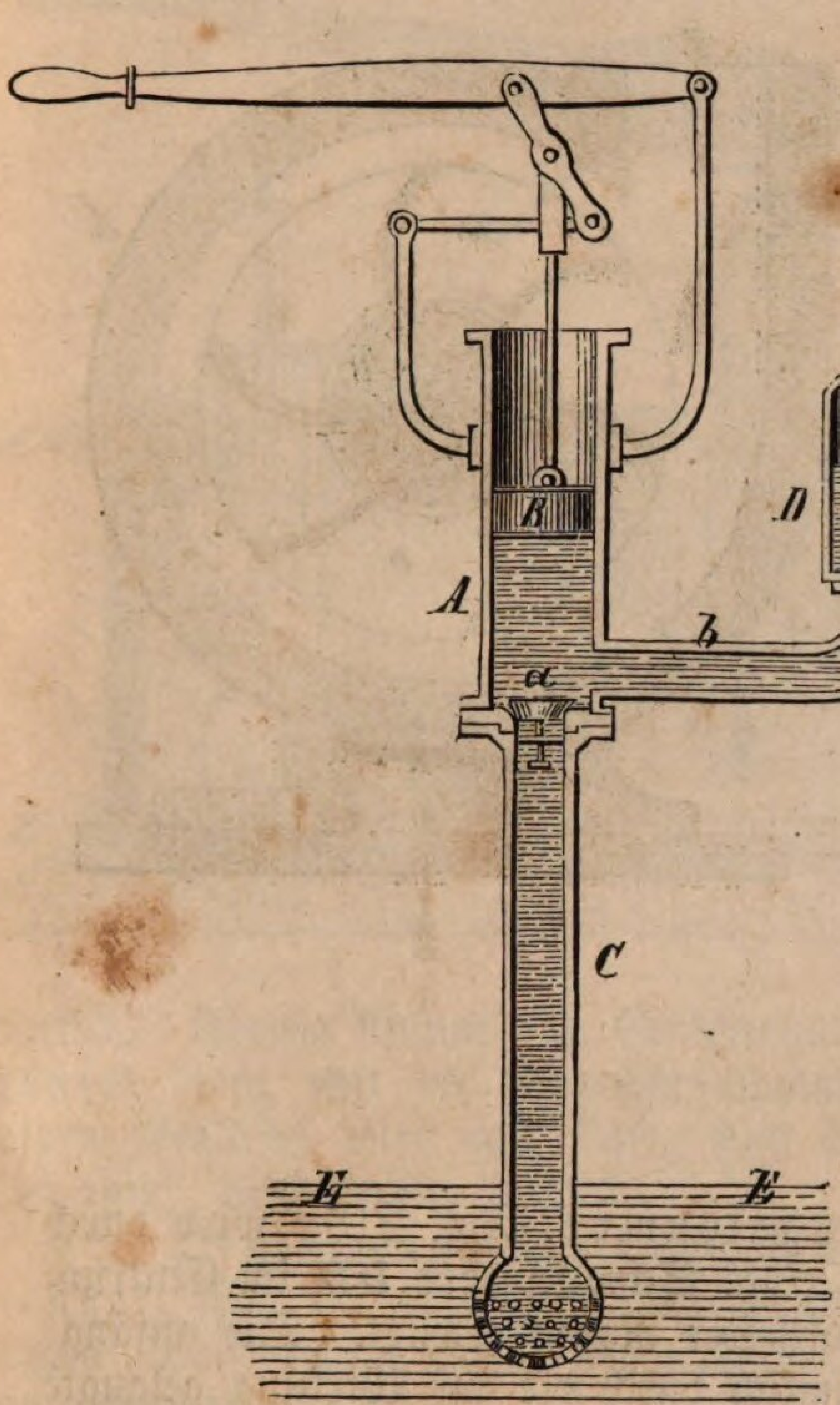
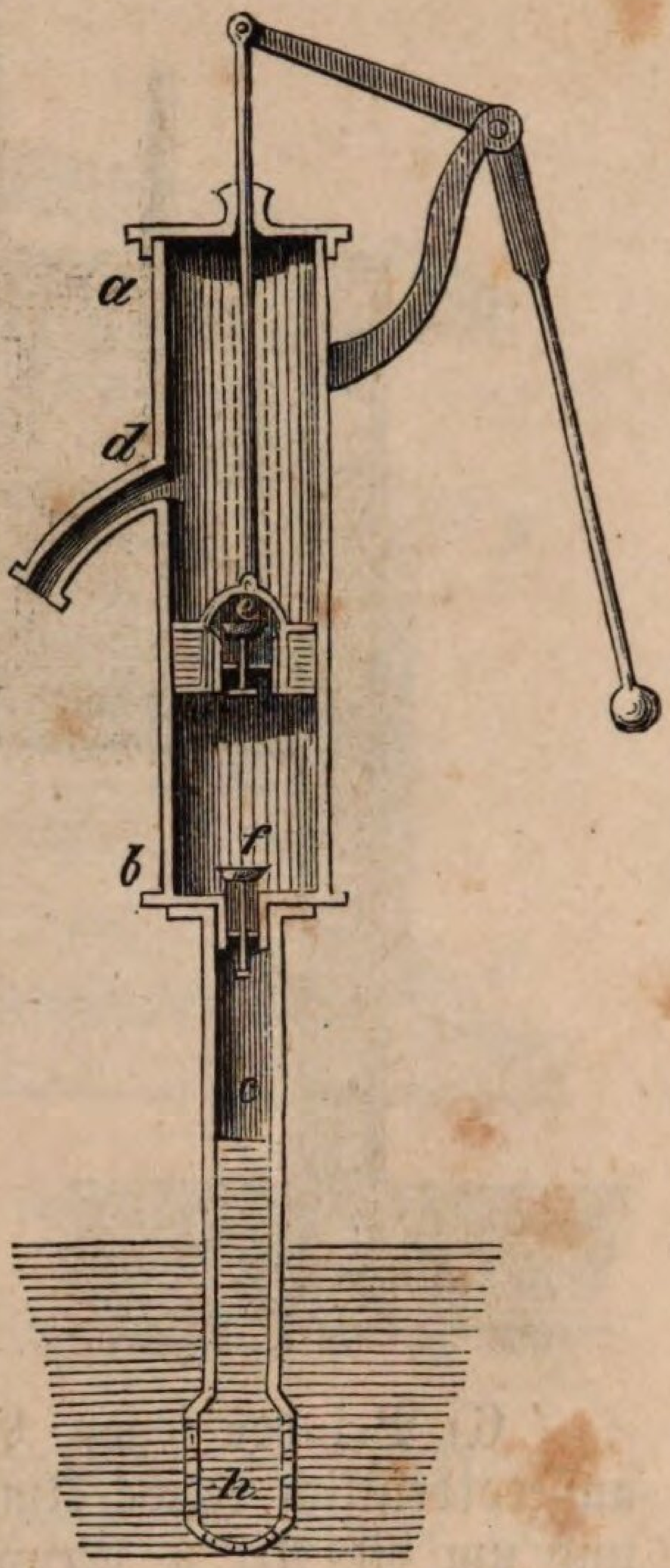


Fig. 217.



4) Die Saug- und Hebepumpe, Fig. 217, unterscheidet sich von der Druckpumpe nur dadurch, daß der Kolben hohl und in ihm das Druckventil *e* angebracht ist. Beim Abwärtsgehen des Kolbens geht darum das Wasser durch den Kolben, hebt das Ventil daselbst und fließt, wie bei gewöhnlichen sogen. Zieh- oder Pumpbrunnen, durch die Röhre *d* aus.

5) Bei den doppeltwirkenden Pumpen, Fig. 218, wird sowohl beim Auf- als Abwärtsgehen des Kolbens Wasser aufgesaugt und in die Höhe getrieben. Beim Steigen des Kolbens öffnet sich das untere Saugventil ***B*** und zugleich aber auch das obere Druckventil ***C***, so daß unten Wasser eingesaugt, oben aber das vorhandene Wasser durch die Röhre ***E*** in die Höhe gepreßt wird. Beim Abwärtsgehen des Kolbens tritt Wasser oben durch das Saugventil ***B*** in den Stiefel, hingegen unten durch ***C*** das dort vorhandene Wasser in die Steigröhre.

Fig. 218.

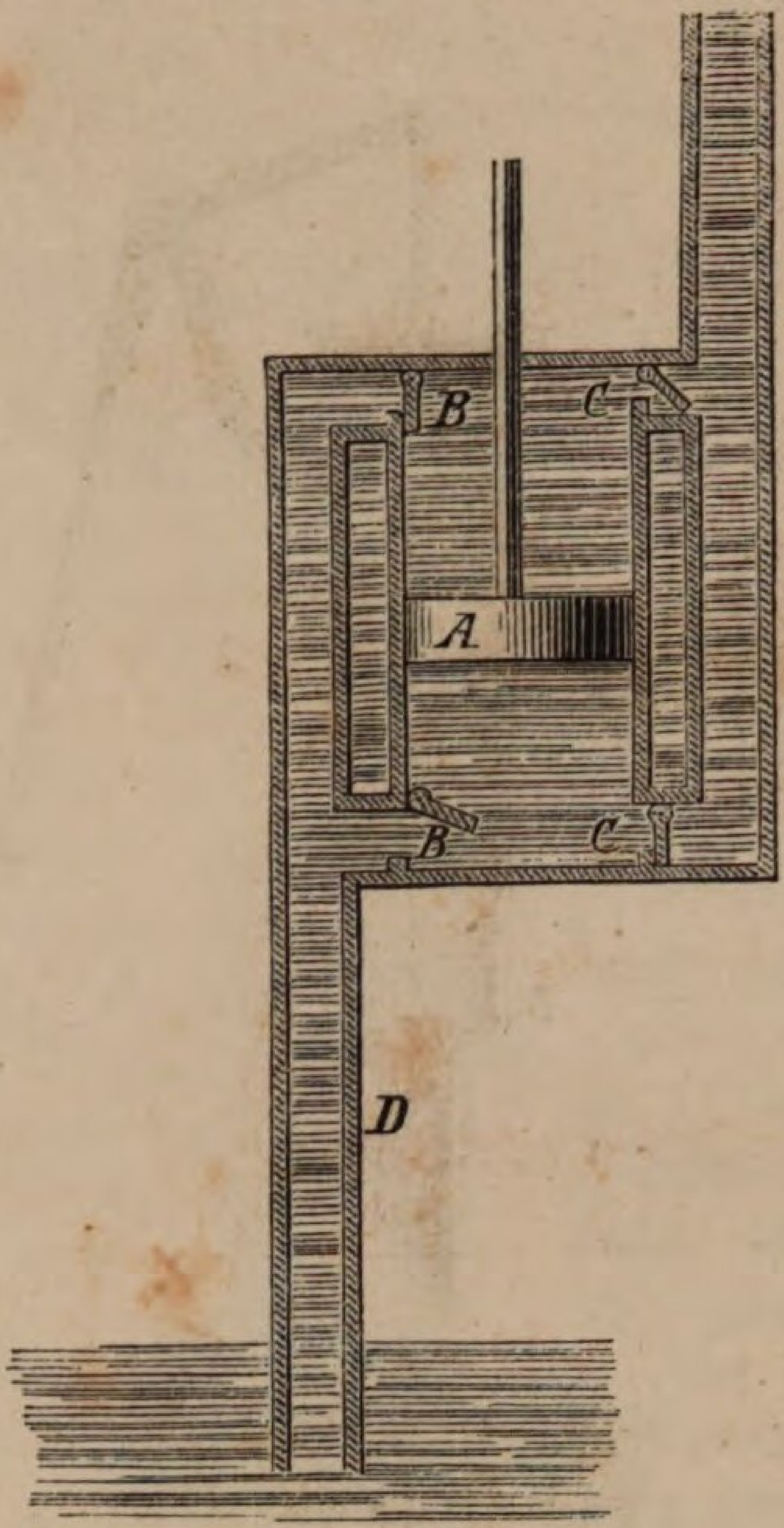
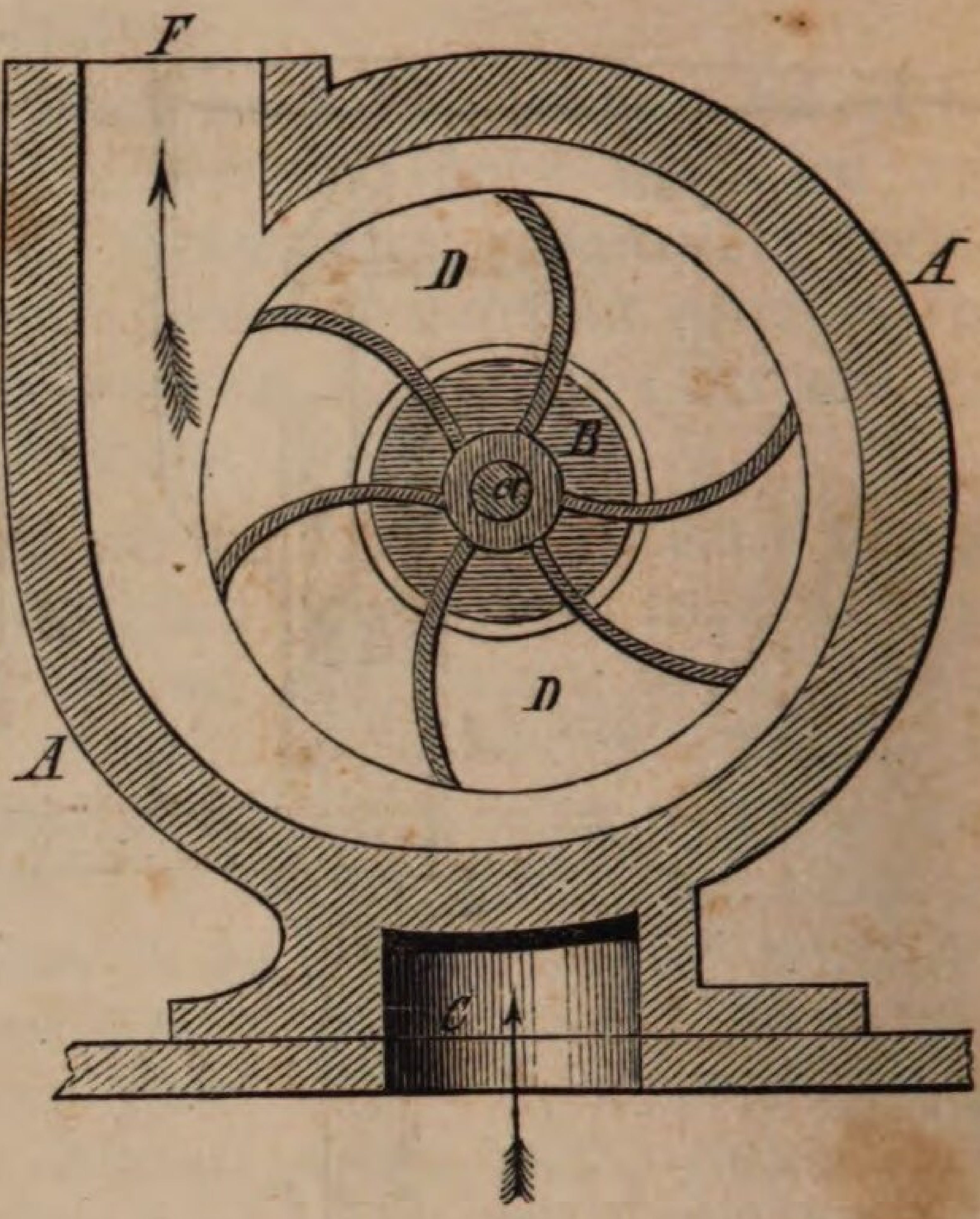


Fig. 219.

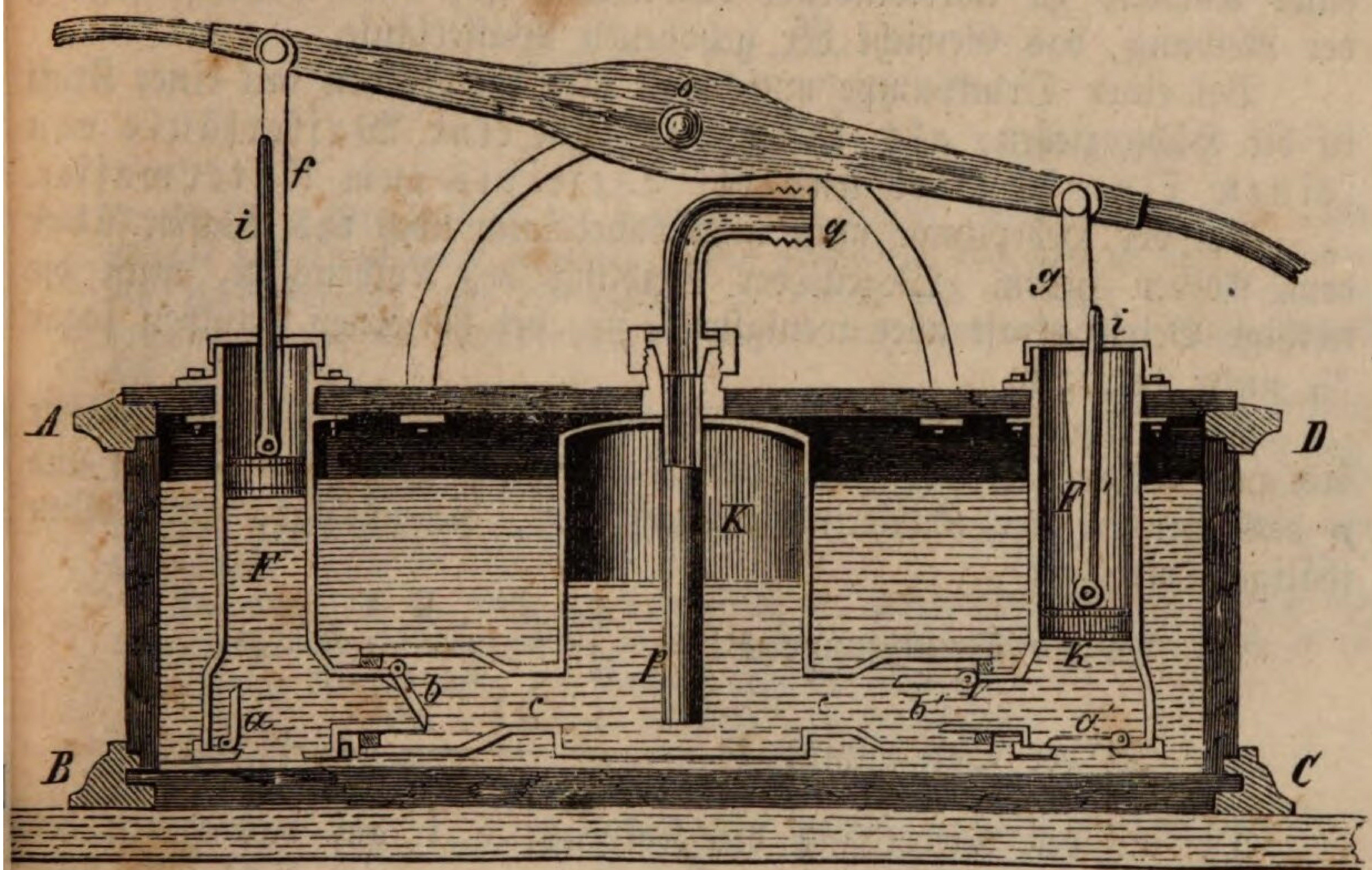


6) Bei der sogen. **Centrifugalpumpe**, Fig. 219, wird durch außerordentlich rasche Umdrehung eines Schaufelrades ***DD*** im Centrum und um die Axe ***a*** herum ein luftleerer Raum erzeugt. Die anfänglich dort vorhandene Luft wird nämlich durch die zur Wirkung gelangte Centrifugalkraft nach dem Umfange fliehen und durch die krummen Radschaufeln nach der Abzugsröhre ***F*** geschafft. Steht nun die bei ***B***, um die Axe herum offene Seitenwand durch Kanäle mit Wasser in Verbindung, so wird dieses dann eingesaugt.

7) Die **Feuerspritze** ist entweder eine einfache oder doppeltwirkende Druckpumpe. Geht in Fig. 220 der Kolben ***F*** in die Höhe, so wird Wasser eingesaugt. Zugleich aber auch wird das in dem andern Stiefel vorher eingesaugte Wasser durch den abwärtsgehenden Kolben ***F'*** in den Windkessel ***K*** gepreßt. Von hier aus gelangt das Wasser dann durch die Steigröhre ***q*** an den Ort seiner Bestimmung.

8) Unter den **Gebläsen** ist zu unterscheiden: Der gewöhnliche **Blasebalg**, das **Cylindergebläse** und das **Centrifugalgebläse**. — Bei dem gemeinen **Blasebalg** entsteht durch die Ausdehnung desselben ein leerer Raum, der sich dann durch ein nach innen sich öffnendes Ventil mit Luft füllt. Diese entweicht beim Zusammenziehen des Blasebalgs durch ein anderes Ventil in das Blaserohr. — Das **Cylindergebläse** ist der doppeltwirkenden Pumpe, Fig. 218, vollständig

Fig. 220.



ähnlich. Ebenso stimmt das Centrifugalgebläse oder der sogen. **Ventilator** ganz mit der Centrifugalpumpe, Fig. 219, überein. Bei beiden Gebläsen wird nur Luft, statt Wasser eingesaugt und an den Ort ihrer Bestimmung gebracht.

9) **Bestimmung der durch Pumpen gehobenen Wassermenge.** Die bei einem Hub durch eine einfachwirkende Pumpe gehobene Wassermenge wäre, wenn Kolben und Ventile ganz dicht schließen würden,

$$M = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l,$$

wenn d der Durchmesser des Kolbens und l die Hublänge ist. Wegen eintretender Verluste beträgt aber die **wirkliche Wassermenge** nur 0,9 hievon.

Es ist darum die in n Hüben in Wirklichkeit gehobene Menge

$$\mathfrak{M} = \frac{0{,}9 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot l \cdot n}{4}.$$

Hieraus erhält man für den Durchmesser

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \mathfrak{M}}{0{,}9 \cdot \pi \cdot l \cdot n}}, \text{ d. i. } d = 1{,}2 \sqrt{\frac{\mathfrak{M}}{l \cdot n}}.$$

Eine doppeltwirkende Pumpe hebt natürlich in der nämlichen Zeit die doppelte Wassermenge, also

$$\mathfrak{M} = \frac{2 \cdot 0{,}9 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot l \cdot n}{4}.$$

10) Betriebskraft einer Pumpe. Der beim Aufwärtsziehen eines Kolbens zu überwindende Widerstand ist, ohne Berücksichtigung der Reibung, das Gewicht der gehobenen Wassersäule.

Bei einer Druckpumpe muß man also den Kolben mit einer Kraft in die Höhe ziehen, als laste auf ihm eine Wassersäule von seinem Querschnitte und der Tiefe bis zum Unterwasser.

Bei der Hebepumpe muß man dabei auch noch das Wasser über dem Kolben heben. Wegen der Reibung des Kolbens 2c. muß die nöthige Betriebskraft aber wenigstens $\frac{1}{3}$, bei hölzernen Pumpen sogar $\frac{2}{3}$ mehr betragen.

Es ist somit, wenn h die Höhe der Wassersäule vom Unterwasser bis zum Kolben, h' die Höhe der Wassersäule über dem Kolben und p das Gewicht der Kubikeinheit Wasser ist, die nöthige, am Kolben thätige Triebkraft

$$\text{bei der Druckpumpe } P = \frac{4}{3} \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h \cdot p,$$

$$\text{bei der Saugpumpe } P = \frac{4}{3} \frac{d^2 \cdot \pi}{4} (h + h') \, p.$$

Die auf den Niedergang des Kolbens, d. i. auf das Heben des Wassers in der Steigröhre einer Druckpumpe oder im Schlauche einer Feuerspritze zu verwendende Kraft ist gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche die Kolbenfläche zur Grundfläche und eine Höhe h'' hat, welche gleich ist dem vertikalen Abstande des Kolbens von dem zu erreichenden Ort; wobei wieder etwa $\frac{1}{3}$ Mehraufwand wegen Bewegungshindernissen (bei der Feuerspritze Widerstand der Luft 2c.) zuzurechnen ist.

$$\text{Also Kraft } P = \frac{4}{3} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h'' \cdot p.$$

Wären noch L und l die Hebelarme einer Pumpe oder Feuerlöschspritze, so wäre

$$P = \frac{4 \cdot l \cdot d^2 \cdot \pi \cdot h'' \cdot p}{3 \cdot L \cdot 4} = \frac{l \cdot d^2 \cdot \pi \cdot h'' \cdot p}{3 \cdot L}.$$

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Welche Wassermenge liefert in der Minute eine einfach wirkende Pumpe, deren Kolben einen Durchmesser von 4'' bad. und eine Hubhöhe von 1' hat, wenn per Minute 30 Hübe gemacht werden?

Auflösung. Nach Seite 159 ist die fragliche Wassermenge

$$\mathfrak{M} = 0{,}9 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot n$$

folglich

$$\mathfrak{M} = \frac{0{,}9 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 0{,}4^2 \cdot 1 \cdot 30 = 3{,}391 \text{ Cubikfuß.}$$

2te Aufgabe. Welchen Durchmesser soll eine doppelt wirkende Pumpe erhalten, wenn der Kolben per Minute 40 Hübe von 0,7 Meter Höhe macht, und wenn die Pumpe in dieser Zeit einen Cubikmeter Wasser liefern soll?

Auflösung. Aus der Formel Seite 159 $M = \frac{2 \cdot 0{,}9 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot l \cdot n}{4}$ ergibt sich

$$d = 0{,}84 \sqrt{\frac{M}{l \cdot n}}$$

$$d = 0{,}84 \sqrt{\frac{1}{0{,}7 \cdot 40}} = 0{,}159 \text{ Meter.}$$

3te Aufgabe Wie groß ist die anzuwendende Arbeit, welche der Betrieb einer Saug- und Druckpumpe erfordert, wenn vermittelst derselben in einer Stunde ein Wasserbehälter von 20′ Länge, 16′ Breite und 6′ Tiefe gefüllt werden soll, und wenn die Ausflußröhre der Pumpe 40′ über dem Unterwasserspiegel sich befindet?

Auflösung. Da der Cubikinhalt des Behälters = 20 . 16 . 6 = 1920 Cubikfuß beträgt, so ist also in 60 Minuten eine Last von 1920 . 54 = 103680 bad. Pfd. auf eine Höhe von 40 Fuß zu heben. Somit erfordert das Heben der besagten Wassermasse in der genannten Zeit einen Nutzeffekt von 103680 . 40 Fußpfund.

Da aber nach S. 160 der Totaleffekt der angewendeten Kraft wegen der Bewegungshindernisse ungefähr um $^1/_3$ größer angenommen werden muß, so ist die nöthige Kraftleistung per Stunde oder 60 Minuten

$$P \cdot s = {}^4/_3 \cdot 103680 \cdot 40 \text{ Fußpfund;}$$

folglich per Sekunde

$$Ps = \frac{4 \cdot 103680 \cdot 40}{3 \cdot 60 \cdot 60} = 1536 \text{ Fußpfd.} = 3{,}07 \text{ Pferdekräfte.}$$

Ist der Pumpenkolben ziemlich in der Mitte der Hubhöhe angebracht, so ist der sowohl beim Auf- als Niedergange anzuwendende Druck oder die Kraft am Kolben

$$P = \frac{4}{3} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot h \cdot p = \frac{4}{3} \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}98^2}{4} \cdot 20 \cdot 54 = 1084 \text{ Pfd.},$$

wovon aber eigentlich nur 0,9 zu rechnen sind, da nach S. 159 die gehobene Wassersäule nur einen Querschnitt von $\frac{0{,}9 \cdot \pi d^2}{4}$ hat.

Die am Kolben wirkende Kraft müßte demnach sein:

$$P = 0{,}9 \cdot 1084 = 975 \text{ Pfd.}$$

XIII. Von der Wärme.

1) Die Wärme ist nach ältern Ansichten eine äußerst feine Materie, die von den verschiedenen Körpern mehr oder weniger angezogen wird. Nach der neuern Ansicht entsteht die Wärme durch eigenthümliche Bewegungen — Schwingungen — des Aethers, der den Weltraum ausfüllt und die Atome der Körper einhüllt.

Die Wärme wird wahrgenommen durch ihre Wirkungen, und zwar: a) auf das Gefühl, b) Ausdehnung, c) Aenderung des Aggregatzustandes der Körper.

Maß der Wärme = Temperatur. — Hohe Temperatur (Hitze), niedere Temperatur (Kälte).

2) Die Wärmeerzeugung ist eine dreifache: die mechanische, chemische und dynamische Wärmeerregung. Sodann besitzen die Erde und der Weltraum an und für sich schon eigene Wärme.

a) Mechanische Wärmeerregung: Durch äußere Einwirkung auf die Körper, durch Schlagen, Hämmern, Reiben (Zündhölzer, Feuer-

schlagen, Selbstentzündung hölzerner Axen 2c.), Drücken, Pressen und überhaupt Verdichten (z. B. Münzen beim Prägen, pneumatisches Feuerzeug 2c.) 2c.

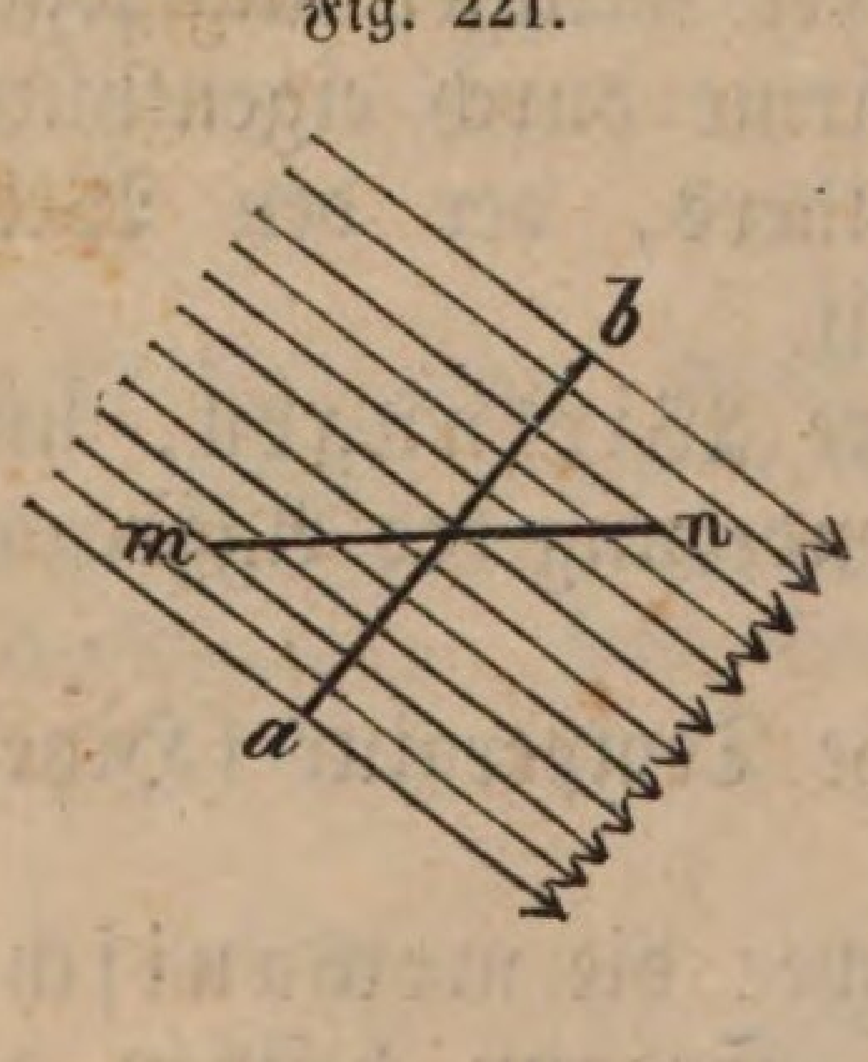
b) Chemische Wärmeerregung. Bei chemischen Verbindungen und Auflösungen (Schwefelsäure mit Wasser, Kalklöschen, Eisen mit Schwefelsäure 2c.); bei Gährungen (Wein, Teig, Fäulniß, — Selbstentzündung von nicht gut getrocknetem Heu, Hanf, Wolle 2c., bei geringem Luftzug und ausgesetztem Drucke). — Verbrennung der Körper.

Lebensprozeß. Die Erzeugung der thierischen Wärme gehört auch hieher; denn letztere entsteht hauptsächlich durch Verbindung des Kohlenstoffs im Blute mit dem eingeathmeten Sauerstoff, welcher Akt eine eigentliche Verbrennung, also ein chemischer Vorgang ist. Auch durch den Verdauungsproceß wird zum Theil Wärme entwickelt; — selbst im Pflanzenkörper entsteht Wärme durch den Lebensproceß.

Folge dieser Wärmeerregung ist das Erkalten nach dem Tode. — Einfluß der Jahreszeit und des kältern Klima's. Ein größerer Wärmeverbrauch macht eine verstärkte Verbrennung, d. h. mehr Nahrung nöthig, da diese die Kohle liefert. — Nordländer essen darum mehr und namentlich kohlenstoffreichere Substanzen. — Ebenso machen körperliche Anstrengungen, die Bewegung im Freien 2c., wobei ein beschleunigtes Athmen und vermehrte Ausdünstung (Schwitzen) stattfinden und Kohlensäure und Wasser ausgeschieden werden, einen verstärkten Ersatz, d. h. mehr Nahrung nothwendig. — Kalte, dichtere Luft verursacht eine stärkere Verbrennung.

c) Dynamische Wärmeerregung nennt man die Erzeugung von Wärme durch Einwirkung besonderer Kräfte. Dahin gehört die Wärmeerregung durch die Sonnenstrahlen*), sowie durch Elektricität und Magnetismus. — Die Wirkung der Sonnenstrahlen ist nicht abhängig von der Entfernung der Sonne (solche ist uns im Winter näher als im Sommer), sondern von der Art des Auftreffens, d. h. von der Richtung der Strahlen. Je senkrechter diese auftreffen, desto kräftiger ihre Wirkung (Dächer, Bergabhänge). — Dies kommt daher, weil auf die, gegen die Strahlen rechtwinklig gerichtete Fläche *ab*, Fig. 221, mehr Strahlen treffen, als auf eine andere gleich große Fläche *mn*. — Die Wirkung der Sonnenstrahlen ist übrigens auch von der Dauer abhängig. Größere Hitze nach längerer Einwirkung. — Größte Hitze am Nachmittag — Juli und August.

Fig. 221.



*) Nach einer Ansicht vermögen die Sonnenstrahlen nur in den Körpern auf der Erde 2c. Wärmeschwingungen zu erzeugen. Nach einer andern Ansicht aber strahlt die Sonne eigene Wärme aus.

Klima nicht bloß von der geographischen Lage abhängig, sondern namentlich auch von der Höhe des Orts, von der Beschaffenheit des Bodens, von Cultur, Nähe von Gebirgen und Meeren, Luft- und Meeresströmungen &c. —

Schneegränze: Norwegen 2400, Alpen 9000, Aetna 10,000, Himalaja 17,000, Cordilleren 18,000 — 19,000 Fuß hoch.

d) Erdwärme. Eine besondere Wärmequelle ist auch die Erde an und für sich. Auch der Weltraum.

In einer Tiefe von 27 Meter (Sternwarte in Paris) ist immer gleiche Temperatur. Von da in die Tiefe nimmt die Temperatur zu; durchschnittlich etwa auf 100′ Tiefe 1° *C.*; doch ist die Zunahme im Allgemeinen sehr unregelmäßig.

Temperaturen in Neusalzwerk:	580	paris. Fuß tief	= 19,7° *C.*,
	1285	„ „ „	= 27,5° „
	1935	„ „ „	= 31,4° „
	2144	„ „ „	= 33,6° „
„ „ Mondorff:	2066	„ „ „	= 34° „

Beweise und Folgen der höhern Temperatur im Innern der Erde: Direkte Messungen; sodann artesische Brunnen, heiße Quellen, Vulkane, Erdbeben. —

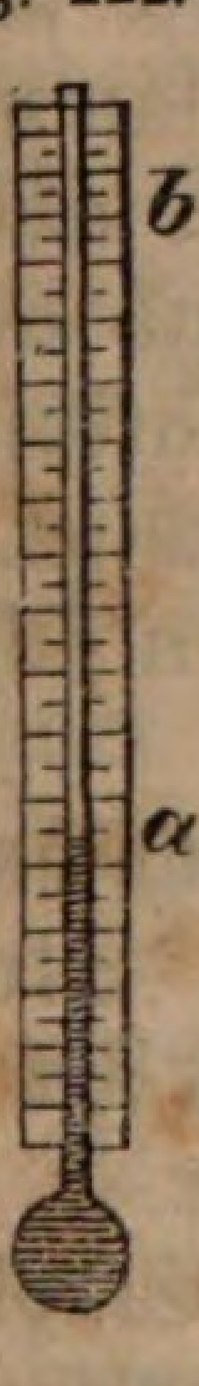
Größte erreichte Tiefen durch Bohren: Neusalzwerk bei preuß. Minden = 2500′, Grenelle bei Paris 1680′.

Erdbildung. Perioden. Frühere Zustände.

3) Wärmemessung. Dies geschieht durch Beobachtung der Ausdehnung gewisser Körper. — Thermometer (Drebbel 1630). — Quecksilber-, Weingeist- und sogen. Metallthermometer.

Die Quecksilber- und Weingeistthermometer, Fig. 222, bestehen aus einer luftleeren, an beiden Enden geschlossenen, überall gleich weiten Glasröhre, die mit den genannten Substanzen theilweise gefüllt ist. — Gradeintheilung. Gefrierpunkt und Siedepunkt. Bestimmung des erstern *a* durch Einsenken der Röhre in feingehacktes, schmelzendes Eis; Bestimmung des Siedepunkts *b* durch die Temperatur eines sich beim Sieden frei bildenden, das Thermometer umhüllenden Wasserdampfes. Dabei Beobachtung des mittleren Barometerstandes.

Fig. 222.



Reaumure'sche, Celsius'sche (Centesimal-) und Fahrenheit'sche Eintheilung.

Reaumure bezeichnet den Gefrierpunkt mit 0 und den Siedepunkt mit 80, Celsius setzt ebenfalls 0 am Gefrierpunkt, hingegen am Siedepunkt 100. Fahrenheit aber bestimmte seinen Gefrierpunkt durch eine künstliche Kältemischung und theilte den Abstand bis zum Siedepunkt in 212 Theile ein, dabei kommen bis zum natürlichen Frostpunkt 32 und also auf den Abstand von diesem bis zum Siedepunkt 212 — — 32 = 180 Theile.

Darum heißt die Verwandlung:

$$80^0\ R. = 100^0\ C. = 180^0\ F.,$$

d. i. 4^0 „ $= 5^0$ „ $= 9^0$ „

also $+ 28^0\ R. = + 35^0\ C. = + 63 + 32$, d. i. $+ 95^0\ F.$,

oder $- 20^0$ „ $= - 25^0$ „ $= - 45 + 32$, d. i. $- 13^0$ „

Unterschied der Thermometer und Barometer!? — Gebrauch des Quecksilberthermometers für höhere Temperaturen und des Weingeistthermometers für niedere. — Weingeist gefriert nicht.

Das **Metallthermometer**, Fig. 223, besteht aus einem zusammengelötheten, gewundenen Metallstreifen (Silber und Platina, gelöthet durch Gold), der sich ungleich ausdehnt und dabei zu- oder aufrollt.

Fig. 223.

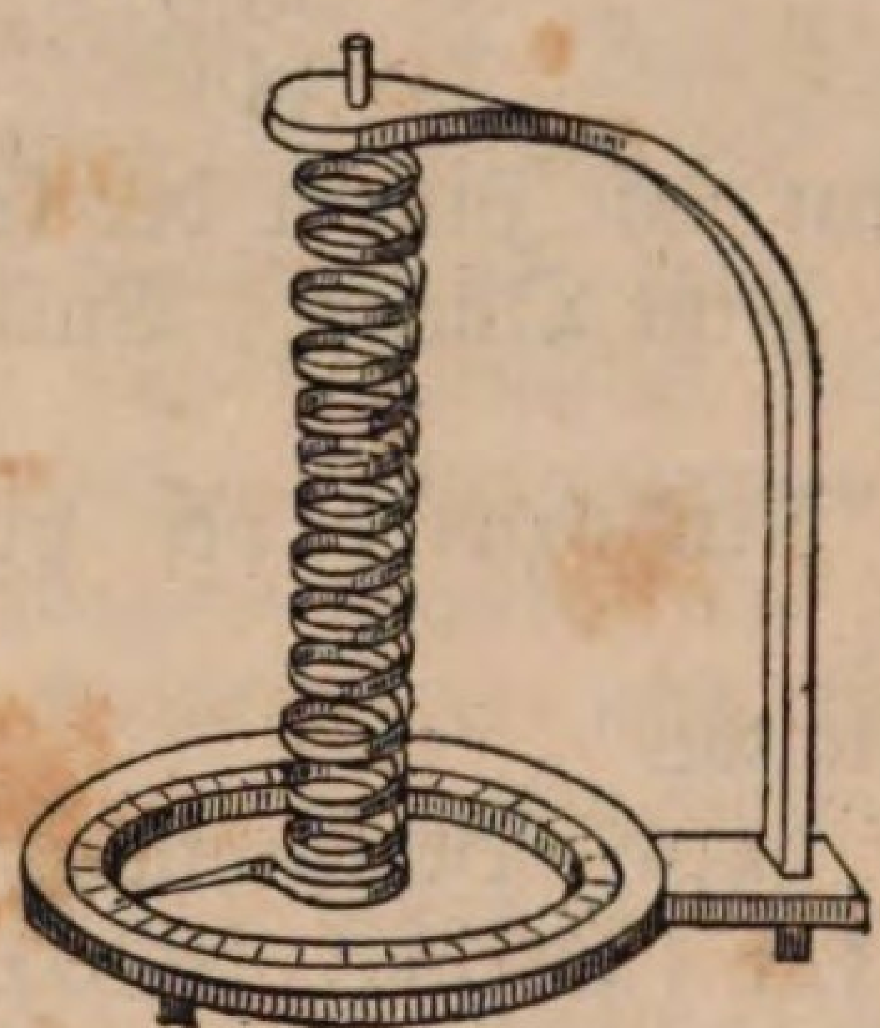
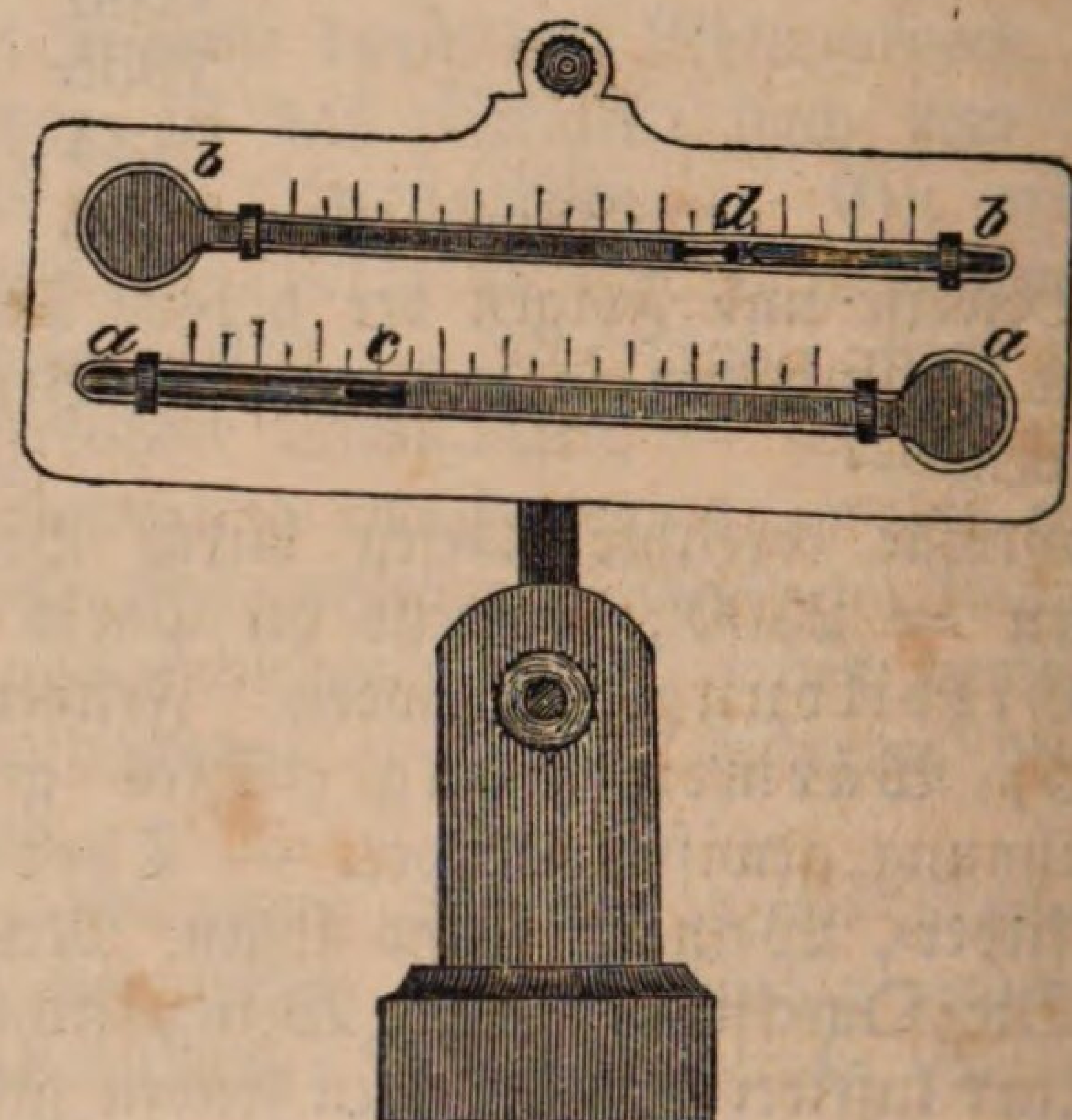


Fig. 224.



Thermometer für besondere Zwecke: **Thermoscop**, **Thermometrograph**, Fig. 224. Letzterer enthält ein mit Quecksilber gefülltes sogen. **Maximumthermometer** *aa*, in welchem bei der Ausdehnung ein Eisenstäbchen *c* vorangeschoben wird und ein mit Weingeist angefülltes sogen. **Minimumthermometer** *bb*, in welchem bei der Zusammenziehung ein Glasstäbchen *d* mit zurückgezogen wird. Beide Stäbchen bleiben liegen und zeigen darum den höchsten und tiefsten Stand an.

Pyrometer für hohe Hitzgrade. Am einfachsten ein Platinstab, aus dessen abgemessener Ausdehnung man die Temperatur berechnet. — **Wegdwood's** Pyrometer mit Thoncylinder, die sich zwischen schiefgestellten Lineale einsenken.

4) **Mittlere Temperatur.** Tages-, Jahres- und durchschnittliche Temperatur. — Letztere ist in Karlsruhe, Mannheim, Straßburg 2c. $= 8^0\ R. = 10^0\ C.$ — Abhängigkeit des Klima's, der Fruchtbarkeit einer Gegend (Vegetation) von der mittlern Temperatur.

Isothermen sind Linien, die alle jene Orte auf der Erdoberfläche miteinander verbinden, welche die nämliche mittlere Temperatur

haben. Die Isotherme von 8° R. geht durch London, Paris, Brüssel, Amsterdam, Frankfurt, Karlsruhe, Würzburg, Wien, Ofen, Odessa, Astrachan, Newyork.

Temperaturen.

Mittlere Temperatur bei uns (Karlsruhe ꝛc.)	8° R.
Mittlere Temperatur der Erdoberfläche	11 bis 12° R.
Heiße Sommertage bei uns	22 bis 25° R.
Bei uns seltene Hitze (1852) im Schatten	28° R.
1824 in Madrid	35° R.
Höchste beobachtete Temperatur in der Wüste Sahara	44° R.
Ewiger Frühling in Quito	12° R.
Blutwärme	29 1/7° R.
Bei uns gewöhnliche Kälte	—10° R.
Bei uns sehr kalt	—15 bis —18° R.
Seltene Kälte (1830), (in Stuttgart —29° R.)	—25° R.
Hohe Kälte in Sibirien	—40° R.
Höchste beobachtete Kälte in den Polargegenden	—48° R.
Wahrscheinliche Temperatur des Weltraums	—48° R.

5) *Fortpflanzung oder Mittheilung der Wärme.* Diese ist eine doppelte: durch *Leitung* und *Strahlung*.

a) *Leitung.* Die der Wärmequelle zunächst gelegenen Körpertheilchen empfangen zuerst die Wärme, theilen diese dann den benachbarten Theilchen mit u. s. w. — Die Fortleitung geht hiebei dann entweder rasch oder nur langsam von statten. — *Gute* und *schlechte* Wärmeleiter.

Gute Wärmeleiter sind hauptsächlich die Metalle; *schlechte Leiter:* Glas, Holz, Erde, besonders aber Wolle, Haare, Stroh, Schnee, trockene Luft.

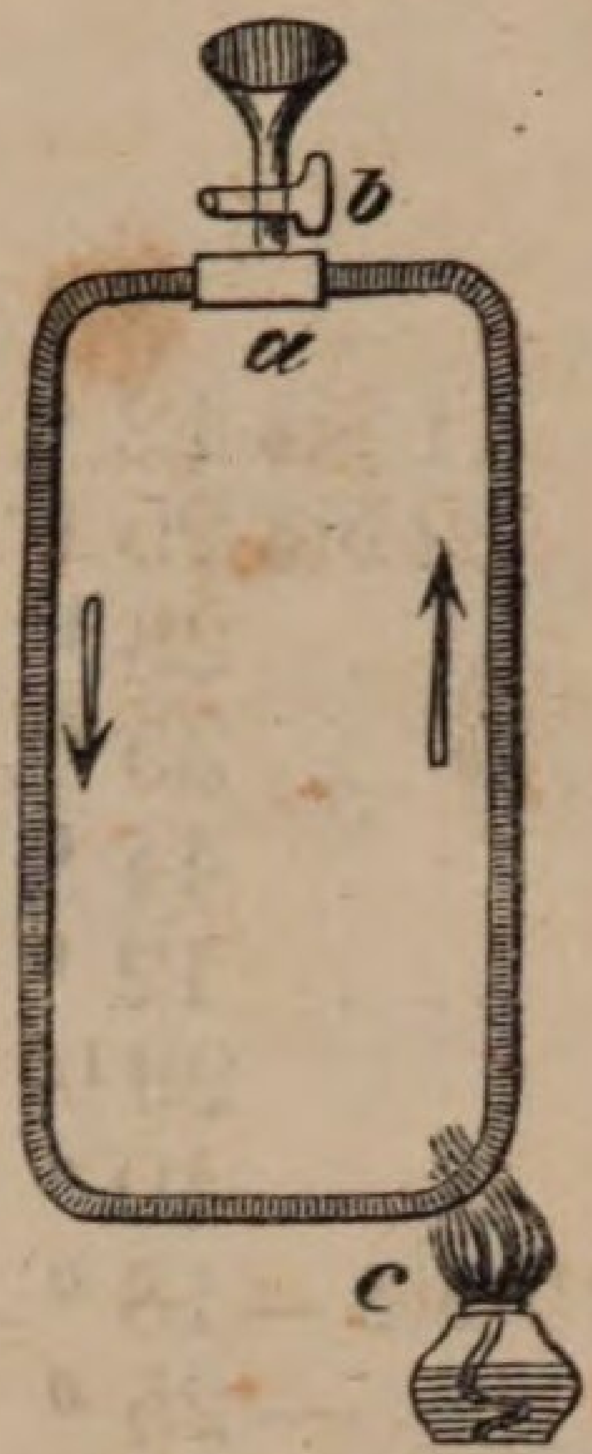
Folgen und Anwendungen verschiedener Leiter: eiserne und irdene Oefen, hölzerne Handgriffe an metallenen Gefäßen ꝛc., Anfühlen verschiedener Körper bei niedriger Temperatur, Einfluß der Bekleidungsstoffe, Stroh- und Ziegeldächer, Strohdecken, Eisaufbewahrung, hörnene Hand, Wirkung der Doppelfenster, doppelter Mauern und doppelter Bekleidung, Luftbetten. — Frieren in feuchter (besser leitender) Luft.

Schlechte Leitung der Erde. In 26 Tagen erst dringt eine durch ein Feuer unterhaltene höhere Temperatur auf 6′ Tiefe ein. — Daher umgekehrte Jahreszeiten des Boden bei 27′ Tiefe. — *Lava* nach Jahren noch heiß.

Erwärmung der Flüssigkeiten, — hiebei tritt eine Bewegung, Strömung ein. Die erwärmten, leichtern Schichten steigen in die Höhe, und kältere, schwerere treten an ihre Stelle. Versuche mit erwärmtem Wasser, Zug am Ofen, im Kamine, in den Lampencylindern ꝛc.

Wasserheizung und Luftheizung. Bei der ersten steigt das heiße, leichtere Wasser in einer Röhrenleitung in die Höhe. Die, die verschiedenen Stockwerke durchziehende Leitung gibt die Wärme an die umgebende Luft ab, und das erkältete Wasser geht wieder an die Heizstelle zurück. Vergl. Fig. 225. — Bei der Luftheizung umgibt den eigentlichen, sehr stark erhitzten Ofen ein Mantel, welcher unten Oeffnungen hat, wodurch, sowie durch dort einmündende Röhren, kalte Luft eingesogen wird. Von dem obern Theil des Mantels geht die Röhrenleitung aus, welche die heiße Luft in die verschiedenen zu erwärmenden Räume führt. Die heiße Luft strömt oben an der Decke in die Zimmer. Die untern, kältern Luftschichten müssen weichen und werden vom Ofen eingesaugt oder gehen in's Freie. Die nämliche Luft darf nicht längere Zeit Dienste thun, sondern es muß von Zeit zu Zeit die Luft erneuert werden (Ventilation).

Fig. 225.



Winde. Regelmäßige: Passatwinde, obere (Aequatorialströme) und untere (Polarströme, eigentliche Passatwinde) von und gegen den Aequator; wegen der Axendrehung der Erde erstere süd- und nordwestlich, letztere süd- und nordöstlich. Land- und Seewinde 2c. — Unregelmäßige Winde erzeugt durch unregelmäßige, ungleiche Erwärmung der Atmosphäre (bewölkter Himmel).

Erwärmung der Atmosphäre durch die Erdwärme und Ausstrahlung der von der Sonne beschienenen Erde; darum oben kälter. Abnahme je 1° *R.* auf durchschnittlich 600 Fuß Erhebung in der Nähe des Aequators; — in unserer Gegend sehr verschieden, namentlich auch nach der Tageszeit.

b) Strahlung. Fortpflanzung in Strahlen, geradlinig und mit außerordentlicher Geschwindigkeit (s. Licht), ohne daß dabei die durchdrungenen Körper erwärmt werden, — strahlende Wärme. Beweis: durch ein Thermoscop, zwischen welches und die Wärmequelle man einen Schirm bringt. Verhindern des Aufthauens gefrorener Fensterscheiben durch einen Schirm 2c. Wahrnehmung der Wärmestrahlen vor geöffneter Ofenthüre. Ofenschirm 2c.

Verschiedenes Verhalten der Wärmestrahlen beim Auftreffen auf einen Körper; dieselben werden nämlich durchgelassen, aufgenommen (verschluckt) oder zurückgeworfen (reflectirt).

Bei dem Durchlassen der Wärmestrahlen findet der Unterschied statt, daß ein Körper die Strahlen der einen Wärmequelle durchläßt, die Strahlen einer andern Quelle aber nicht. So läßt Glas die Sonnenwärme durchgehen, dagegen die Ofen- und Erdwärme nicht. — Anwendung bei Mistbeeten, Orangerien 2c. — Wärmefarben. — Steinsalz ist der einzige Körper, der alle Wärmestrahlen durchläßt.

Wärmestrahlen werden hauptsächlich aufgenommen (absorbirt) durch dunkle, rauhe Körper. Diese haben darum auch ein größeres Ausstrahlungsvermögen. Helle, polirte Körper hingegen reflektiren die Wärme, haben geringes Ausstrahlungsvermögen.

Beispiele: Ein Wasserkasten, dessen vier Seiten polirtes Metall, helles, mattes und berußtes Glas sind, zeigt an einem gegenübergehaltenen Thermometer ganz andere Temperaturen an, wenn eine andere Seite entgegensteht. Bei einer geschwärzten Kugel wird eine höhere Temperatur angezeigt. Dunkle und helle Tuchflecken auf Schnee. Dunkle Wände für Spalierobst. Schmelzen des Schnee's um Bäume herum. Geschwärzte, mit Zierrathen versehene Oefen. Dunkle, raube Röhren für Wärmeleitungen (Heizungen) und helle glatte für Dampfleitungen zum Maschinenbetrieb.

Geringe Reflexion durch Glas, Wasser und andere Flüssigkeiten, hingegen große durch Metalle.

6) Concentriren der Wärmestrahlen. Dieses, d. i. ein Sammeln, Vereinigen der Strahlen auf einen Punkt, geschieht entweder durch Brenngläser, oder durch Brenn- oder Hohlspiegel. — Bei Anwendung von Brenngläsern gehen die auftreffenden Wärmestrahlen durch das Glas, werden aber gebrochen, d. h. von der geraden Richtung so abgelenkt, daß die sämmtlichen Strahlen hinter dem Glas sich in einem Punkt, dem Brennpunkt treffen, wie Fig. 226 zeigt. Hiebei, wie bei der Brechung der Lichtstrahlen, gilt immer als allgemeines Gesetz: Zieht man in der von dem Strahl *ab* getroffenen Stelle *b*, Fig. 227, einer Fläche *mn* das Loth *de*, so wird der Strahl immer gegen dieses Loth abgelenkt, wenn er von einem dünnern in ein dichteres Mittel übergeht; umgekehrt, wenn das Mittel ein dünneres wird, so erfolgt ein Ablenken von dem Einfallsloth.

Fig. 226.

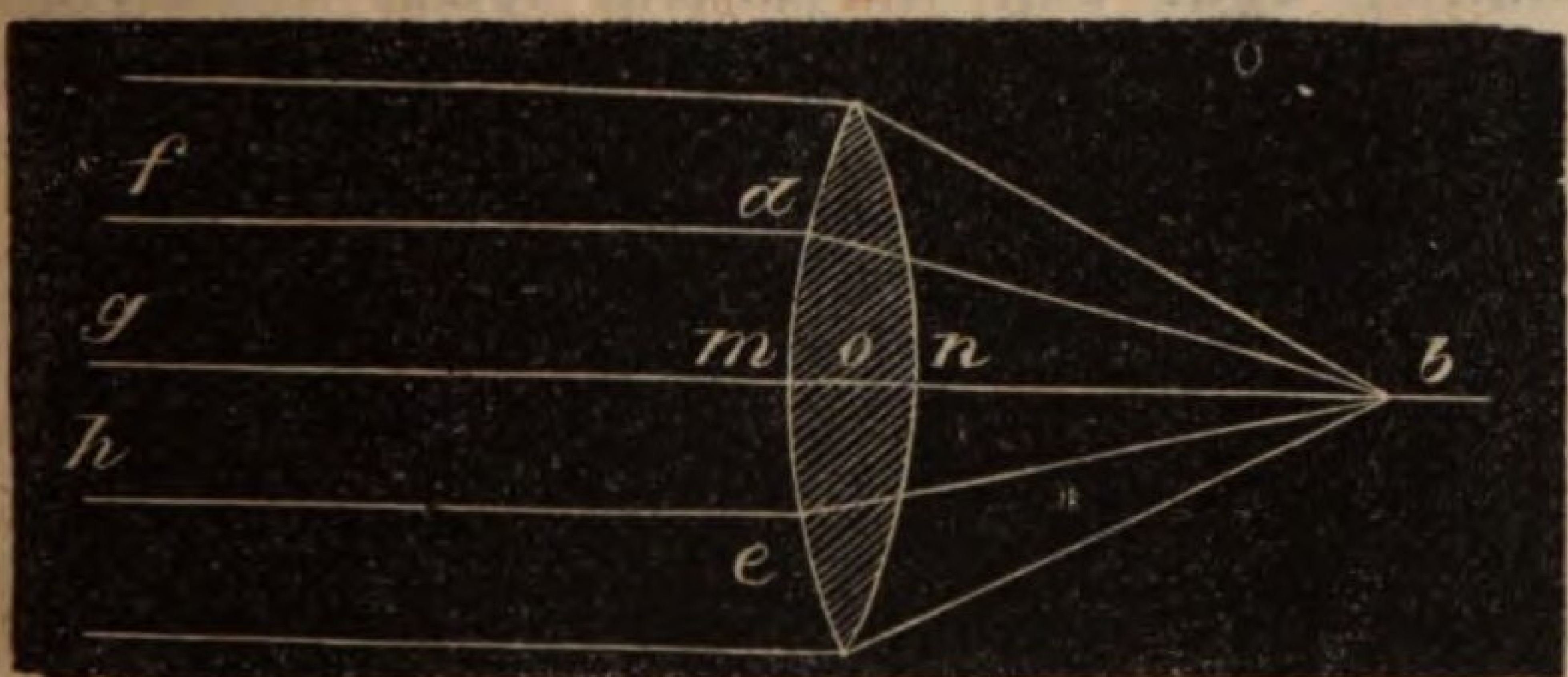
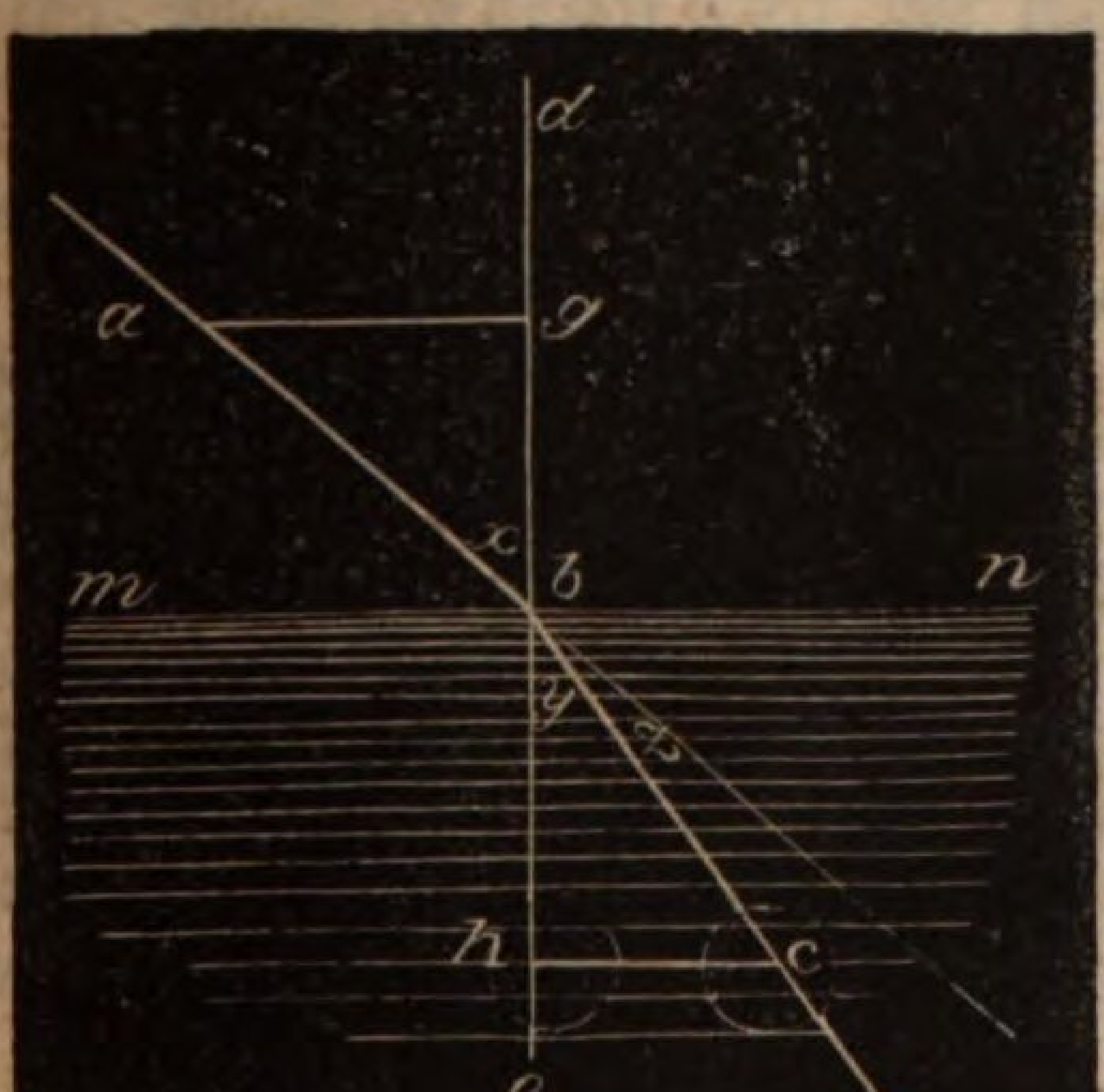
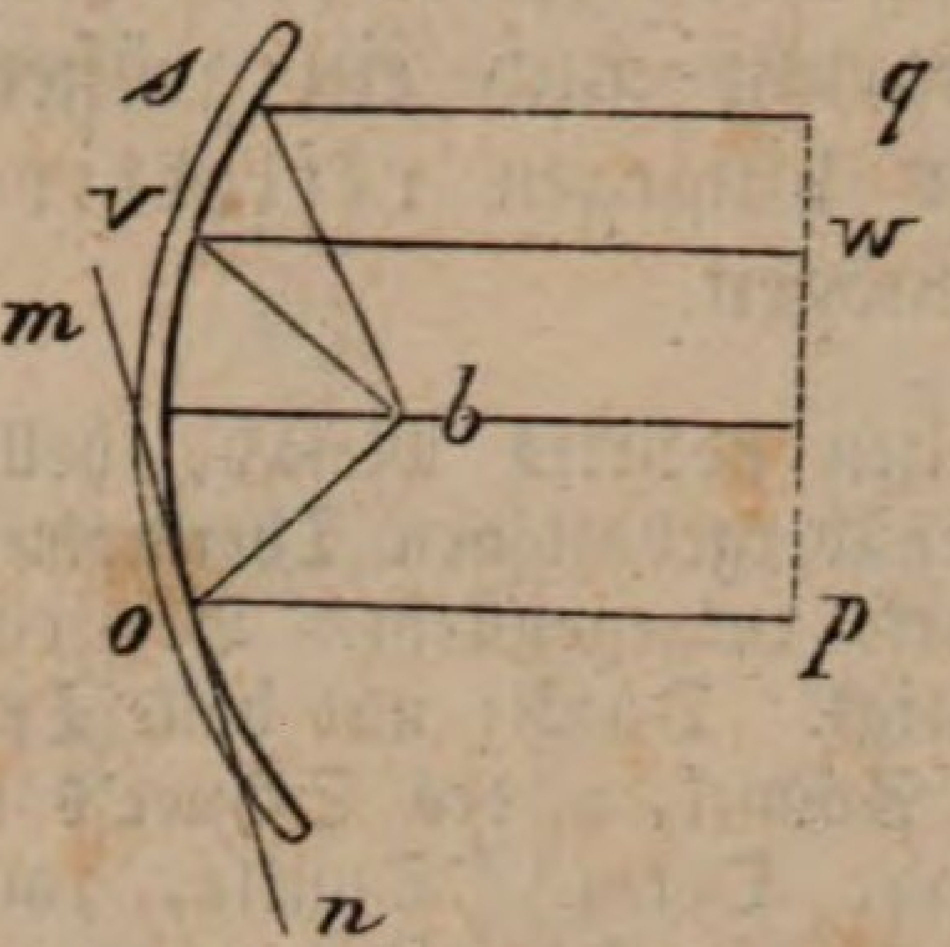


Fig. 227.



Durch Hohlspiegel (am besten parabolische oder auch Kreissegmente) werden die Strahlen zurückgeworfen und zwar auch so, daß sich die reflektirten Strahlen alle in einem Punkte einigen, wie Fig. 228 zeigt. — Der Strahl wird immer unter dem gleichen Winkel zurückgeworfen, unter dem er auftrifft. Bei

Fig. 228.



einer Parabel, deren Brennpunkt in b ist, ist aber $\sphericalangle\, mob = \sphericalangle\, nop$. Auch ist die Summe zweier Fahrstrahlen $qs + sb$ immer gleich $po + ob = wv + vb$.

7) Spezifische Wärme — Wärmecapacität der Körper. Nicht alle Körper, die sich gleich warm anfühlen, besitzen gleichviel Wärme. Man braucht ganz verschiedene Wärmemengen, um gleiche Massen verschiedener Körper um Gleiches zu erwärmen.

Z. B. 1 Pfd. Wasser v. 80° u. 1 Pfd. Wasser v. 0° geben 2 Pfd. v. 40°;
aber 1 Pfd. Wasser v. 80° u. 1 Pfd. Leinöl v. 0° geben 2 Pfd. v. 53°;
und 1 Pfd. Wasser v. 0° u. 1 Pfd. Quecksilber v. 68° geben 2 Pfd. v. 2°.

Also 27° Wärme, die das Wasser abgibt, erhöhen das Oel um 53°, d. h. um das Doppelte, und 66°, die das Quecksilber verliert, erhöhen die gleiche Masse Wasser nur um 2°, d. i. nur um 1/33. — Wasser hat also 2mal soviel spezifische Wärme als Leinöl und 33mal soviel, als Quecksilber. Es wird also hiebei vom Wasser eine große Menge Wärme aufgenommen, ohne daß sie fühlbar wird. — Solche aufgenommene Wärme nennt man gebundene Wärme, während man die empfundene, meßbare Wärme freie (fühlbare) Wärme nennt. — 1 Pfd. Wasser von 75° *C.* und 1 Pfd. Eis geben zusammen 2 Pfd. Wasser von 0°. Es wird also alle Wärme des Wassers beim Schmelzen des Eises gebunden.

8) Wärmebindung und Entbindung. Solche treten immer bei Aenderung des Aggregatzustandes, auch bei Aenderung der Dichte eines Körpers ein.

a) Wärmebindung tritt ein beim Schmelzen, Aufthauen und Verdunsten der Körper, sowie bei abnehmender Dichte*). Dabei wird den umgebenden Körpern Wärme entzogen; es tritt also eine Abkühlung, Kälte ein.

Beispiele. Eisschmelzen, aufthauende Fensterscheiben, Wäschetrocknen im Zimmer, Abkühlen im Sommer durch Bespritzen des Bodens 2c. mit Wasser, Kühle nach dem Regen, Kühlhalten der Getränke in warmen Gegenden durch poröse Gefäße, Kälteerzeugung durch Verdunsten leicht verdampfbarer Stoffe, z. B. des Weingeists, Schwefeläthers 2c., Thermometer, dessen Kugel mit Baumwolle umwickelt wurde, die mit Schwefeläther angefeuchtet wird, — Kälteerzeugung bei Ausströmung comprimirter Luft, Eisbereitung vermittelst der Luftpumpe, Eisdarstellung in tropischen Ländern durch Verdunstung in flachen Gefäßen bei heiterm Himmel und Abhaltung der Erdwärme vermittelst schlechter Leiter, Eisdarstellung im Zimmer durch beförderte Schmelzung oder Auflösung mancher Körper — Kältemischungen (1 Thl. Kochsalz mit 3 Thl. Schnee; — 5 Thl. Salpeter und 5 Thl. Salmiak mit

*) In der nach der Höhe abnehmenden Dichte der Luft wollen Manche auch den einzigen Grund der daselbst herrschenden niederern Temperatur sehen.

10 Thl. Brunnenwasser; — 1 Thl. Schnee mit 1 Thl. verdünnter Schwefelsäure; — Glaubersalz mit Salzsäure 2c.) 2c.

b) Wärmeentbindung. Diese, d. i. Wärmeentwicklung, tritt ein beim Festwerden, Krystallisiren der Flüssigkeiten, beim Gerinnen der Dämpfe und bei Verdichtungen der Körper.

Beispiele. Wärmeentwicklung bei Krystallisiren der Salz- 2c. Lösungen; ruhiges Wasser, das über den Gefrierpunkt herab erkälten kann, wird wieder wärmer, wenn es gefriert, d. h. die Temperatur geht auf 0° zurück; Schwüle vor dem Regen; heftig gepreßte Metalle werden durch die erzeugte Wärme weich, Platinaschwamm wird durch das Verdichten von Sauerstoff und Wasserstoff glühend (Zündmaschine); pneumatisches Feuerzeug 2c. Erwärmung mittelst Eis! Schutz der Pflanzen vor dem Erfrieren, indem man dieselben mit mehreren offenen Gefäßen umgibt, welche voll Wasser sind. Die beim Gefrieren des Wassers frei werdende Wärme schützt die Pflanze.

9) Wärmeeinheit. Man nennt die Wärme, die man braucht, um 1 Pfd. (*Kg.*) Wasser um 1° zu erwärmen, die Wärmeeinheit (W.E. oder Calorie). — Um 2 Pfd. um 1° zu erwärmen, braucht man 2 W.E., und um 2 Pfd. um 3° zu erwärmen, 2 . 3 = 6 W.E. also um 20 Pfd. um 30° zu erwärmen, 20 . 30 = 600 W.E.

Man hat darum einen Werthmesser für die Brennmaterialien, wenn man weiß, wie viel Pfd. (*Kg.*) Wasser durch 1 Pfd. (*Kg.*) des Brennmaterials um ein Bestimmtes erwärmt werden.

Es besitzt aber:

1 Pfd. (1 *Kg.*)	vollkommen gedörrtes Holz	3600	W.E.
"	lufttrockenes Holz	2900	"
"	frische Holzkohle	7000	"
"	gewöhnliche Holzkohle	6000	"
"	Steinkohle und Kohks	6000 bis 7000	"

Von dieser abzugebenden Wärme werden aber auch durch unsere bessern Feuerungseinrichtungen nur ½ bis ⅔ nutzbar.

10) Wirkungen der Wärme auf die Materie: Ausdehnung und Verwandlung des Aggregatzustandes.

a) Ausdehnung der Körper. Es erfolgt hiebei eine Vermehrung der abstoßenden oder Expansivkraft des Aethers (vergl. I. 3), darum eine Entfernung der Atome von einander.

Die Größe der Ausdehnung ist nach dem Aggregatzustand der Körper verschieden. Luftige Körper werden bei irgend einer Temperatur am stärksten ausgedehnt, dann die flüssigen, hingegen feste Körper am wenigsten. — Versuche mit einer zugebundenen Blase, die man erwärmt (erste Luftballons), Topf mit siedendem Wasser oder Milch, erhitzte Kugel, die genau in einen Ring paßt 2c.

Gleiches Volumen erwärmter Massen ist darum leichter, als in gewöhnlichem Zustand. — Aufsteigen warmer Flüssigkeiten und warmer Luft.

Die Ausdehnung fester Körper ist bis 100° ziemlich regelmäßig; von da an erfolgt sie rascher. Sehr regelmäßig bei Quecksilber!!

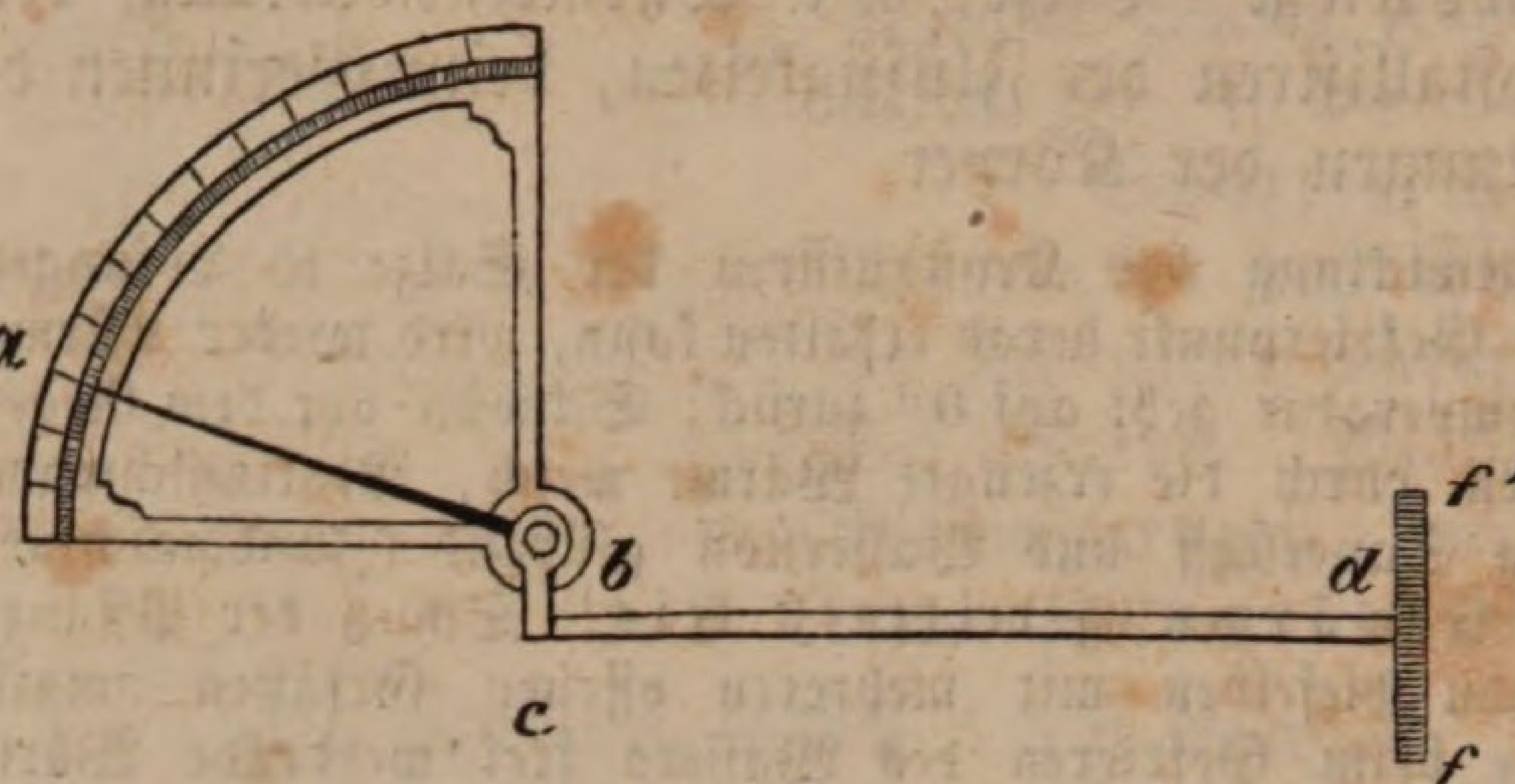


Fig. 229.

Längen- und kubische Ausdehnung! — Messung der Ausdehnung durch die Vorrichtung Fig. 229. — *ff'* ist ein festes Hinderniß; das andere Ende *c* der erwärmten Stange wirkt auf den Arm *bc* eines Winkelhebels.

Ist die Länge bei 0° *C.* = 1, so ist sie bei 100° *C.*:

Bei Platina = 1,00085, Gußeisen = 1,0011, Stabeisen = = 1,0012, Gold = 1,0016, Kupfer = 1,0017, Messing = 1,0019, Silber = 1,0019, Blei = 1,0028, Zink = 1,0033.

Berücksichtigung und Anwendung der Ausdehnung: Bei metallenen Verbänden, Geländern, Eisenbahnen, Röhrenleitungen, Metalldächern, eisernen Brücken, gläsernen Gefäßen zum Erhitzen, Saiteninstrumenten, Uhrenpendeln (Compensationspendeln); Thermometer, Befestigung metallener Bänder, Faß- und Radreifen ꝛc. — Einfluß auf gefüllte Fässer im Sommer oder Winter.

b) Aenderung des Aggregatzustandes. Der Grund liegt auch in der durch Erwärmung vergrößerten zurückstoßenden Kraft. — Bei zunehmender Temperatur tritt das Schmelzen (Flüssigwerden) fester oder ein Verdampfen (Luftigwerden) der flüssigen Körper ein; — hingegen werden bei abnehmender Wärme flüssige Körper fest, sie erstarren, gefrieren und luftige gerinnen — werden flüssig. Dieser Umwandlung unterliegen alle Körper; für manche ist es nur noch nicht gelungen, den erforderlichen Temperaturgrad oder auch andere Bedingungen der Umwandlung herzustellen. (Schmelzen des Kiesels, Marmors ꝛc. — Nach Saint-Claire Deville — Dingler Journ. Bd. 140 S. 6 — verflüchtigt sich in der sogen. Blauglühhitze Platina und schmilzt Kiesel ꝛc.)

Jeder Körper erfordert zur Verwandlung seines Aggregatzustandes, bei sonst gleichen Bedingungen, einen bestimmten Temperaturgrad. — Gefrier-, Schmelz- und Siedepunkt.

Schmelzpunkte für Metalle s. oben S. 11 und 12.

Wein schmilzt (gefriert) bei — 5° *C.*, Milch bei — 11° *C.*

Siedepunkte:

Salzsäure	= 20° *C.*	Meerwasser	= 104° C.
Alkohol	= 78 „	Leinöl	= 315 „
Salpetersäure	= 86 „	Conc. Schwefelsäure	= 327 „
Wasser	= 100 „	Quecksilber	= 360 „

Schmelzmittel. Leicht schmelzbare Gemische — Lothe. Leichter Fluß: 3 Thl. gepulverter Salpeter, 1 Thl. Schwefelblumen und 1 Thl.

feine buchene Sägespäne geben, in eine Nußschale gefüllt, beim Verbrennen eine Hitze, daß eine darauf gelegte Silbermünze vollständig schmilzt. Einfluß von Ruhe oder Bewegung beim Gefrieren, Krystallisiren. Einfluß des Luftdruckes auf das Sieden. – Sieden (Kochen) auf Bergen, unter dem Recipienten, im Pulshammer, Chriophorus, in einem abgekühlten Glaskolben, Fig. 230, wobei das Wasser vorher etwas erwärmt wurde. — Papin'scher Topf! Fig. 231.

Fig. 230.

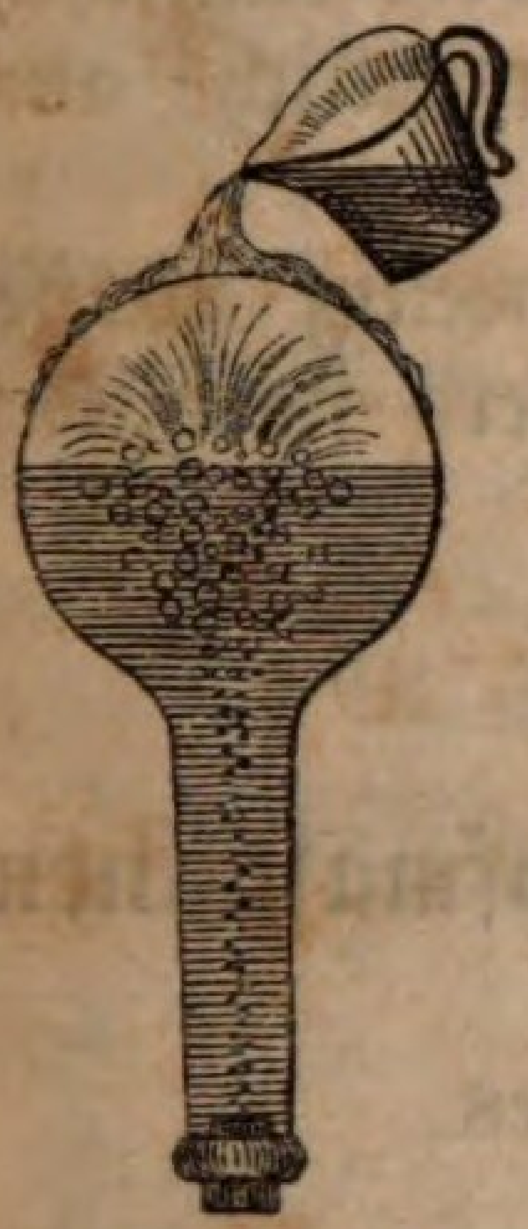
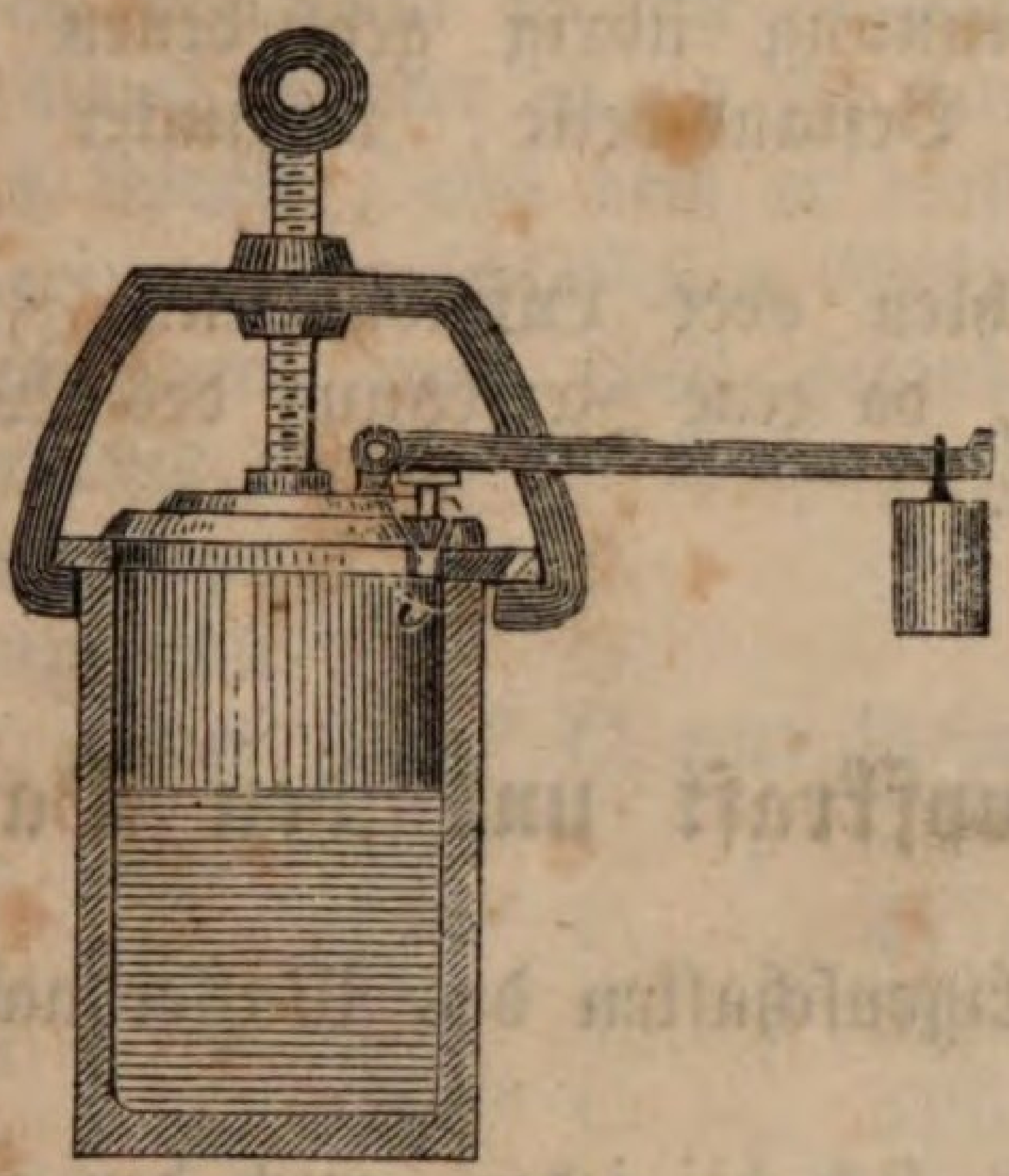


Fig. 231.



Condensation der Dämpfe durch Abkühlen, Druck. — Sättigung der Atmosphäre mit Wasserdämpfen. Einfluß des Windes (Wäschetrocknen!) und der Temperatur.

Bei allem Schmelzen und Verdampfen wird alle zugeführte Wärme gebunden und nur zur Umwandlung verbraucht; darum keine Steigerung der Temperatur, nur raschere Verwandlung.

Beispiele. Schmelzende Körper, Abdampfen der Salze, Destillation, Sieden in zinnernen Gefäßen, sogar in Papier 2c., gleichförmige Temperatur des menschlichen Körpers in allen Klimaten. (In der Hitze nur raschere Schweißbildung. Drei Engländer bei 120° *C.*!)

11) Zurückstoßende Kraft der Wärme. Nach Beobachtung stoßen zwei Platten einander ab, wenn eine oder beide erwärmt werden. So entfernen sich namentlich zwei zusammengepreßte Glasplatten bei der Erwärmung von einander. Leidenfrost'scher Versuch: Ein Wassertropfen verdampft in einem glühenden Platinlöffel nicht, sondern geräth in rotirende Bewegung, ohne daß er das Metall berührt. Erst wenn die Temperatur des Löffels niedriger ist und das Wasser mit dem Platina in Berührung kommt, tritt plötzliches Verdampfen ein. Eintauchen der angefeuchteten Hand in schmelzendes Blei, Eisen 2c. Auch hier wie dort findet keine Berührung, keine Adhäsion statt.

12) Die Verbrennung ist, wie früher schon gesagt wurde, ein chemischer Vorgang, da Zersetzungen eintreten und neue Verbindungen eingegangen werden. Der Akt des Anzündens hiebei ist nur die Herstellung der geeigneten Temperatur, bei welcher jene chemischen Thätigkeiten eintreten. Tritt eine Verbrennung, d. h. eine Verbindung mit Sauerstoff nicht ein, wie bei schmelzendem Gold oder bei Kohle unter Luftabhaltung, so findet ein Glühen statt. — Die Flamme besteht aus leuchtenden Gasen, namentlich Kohlenwasserstoffverbindungen

mit zum Theil glühenden Kohlentheilchen. Rauch ist feine, nicht verbrannte Kohle mit Wasserdampf; Ruß = feinzertheilte Kohle. — Beim Ausglühen oder auch bei einer nicht vollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanzen erhält man Kohle; — Asche und Schlacke sind die bei einer Verbrennung übrig gebliebenen unverbrennlichen, erdigen und metallischen Bestandtheile, worunter namentlich auch Salze sind.

Löschen durch Abkühlen oder Luftabhalten. Zu wenig Wasser befördert die Verbrennung, da eine Zersetzung des Wassers stattfindet. Besser Salzsohle, Sand 2c.

XIV. Von der Dampfkraft und den Dampfmaschinen.

A. Von den Eigenschaften des Wasserdampfes.

1) Wasser verwandelt sich bei jeder, auch der geringsten Temperatur in Dampf; eine vollständige Verdampfung tritt aber nur beim Sieden ein. Diese Umwandlung des Wassers in Dampf hängt von dem Drucke ab, den die Luft auf die Oberfläche des Wassers ausübt. Erst wenn der entwickelte Dampf die nämliche Spannkraft hat, d. h. den gleichen Druck ausübt, wie die Luft, so kann eine ungehinderte Dampfbildung stattfinden. Darum hat auch der Dampf, der sich beim freien Sieden, d. h. bei einer Temperatur von 80° *R.* oder 100° *C.* bildet, die gleiche Spannung wie die Luft und drückt also mit 1860 Pfd. auf 1 □' bad. oder mit 10336 *Kg.* auf 1 □ Meter.

Ein solcher Dampf heißt dann Dampf von einer Atmosphäre.

2) Würde man in einem verschlossenen Gefäß Wasser erhitzen, so müßte die Dampfbildung bald aufhören. Da der über dem Wasser sich befindliche Dampf nämlich nicht entweichen kann, so übt er einen Druck auf jenes aus, so daß eine weitere Dampfbildung dadurch gehindert wäre, wenn nicht andere Umstände eintreten. Fährt man nämlich mit der Erhitzung fort, so steigt die Temperatur, und bei dieser erhöhten Temperatur entwickelt sich dann neuer Dampf. Dieser bei höherer Temperatur erzeugte Dampf hat aber eine größere Spann- oder Expansivkraft, und zwar nimmt diese bei gesteigerter Temperaturzunahme so rasch zu, daß während Dampf von 100° *C.*, d. h. beim Sieden in einem offenen Gefäße erzeugter Dampf einen Druck = = 1 Atmosphäre ausübt, so drückt

Dampf	von	121° *C.*	schon	mit	2	Atmosphären,
"	"	135° *C.*	"	"	3	"
"	"	145° *C.*	"	"	4	"
"	"	153° *C.*	"	"	5	"
"	"	160° *C.*	"	"	6	"

d. h. Dampf von 121° *C.* drückt mit 2 . 10336 *Kg.* auf 1 □Meter, oder mit 2 . 1860 Pfd. auf 1 □′ bad. u. s. w.*)

3) Der beim freien Sieden sich bildende Dampf hat nur eine Dichte oder Schwere = 5/8 der Schwere der atmosphärischen Luft. Es folgt hieraus, daß der beim Sieden in einem offenen Gefäße erzeugte Dampf etwa 1700mal leichter ist, d. h. einen 1700mal größern Raum ausfüllt, als das Wasser, aus dem er entstanden. Derjenige Dampf aber, der sich in einem abgeschlossenen Gefäß bildet, oder dort, wo der Dampfabfluß wenigstens zum Theil gehindert ist, ist nach Vorigem dichter, und es wächst wieder die Dichtigkeit, wie die Temperatur, bei welcher der Dampf erzeugt wurde.

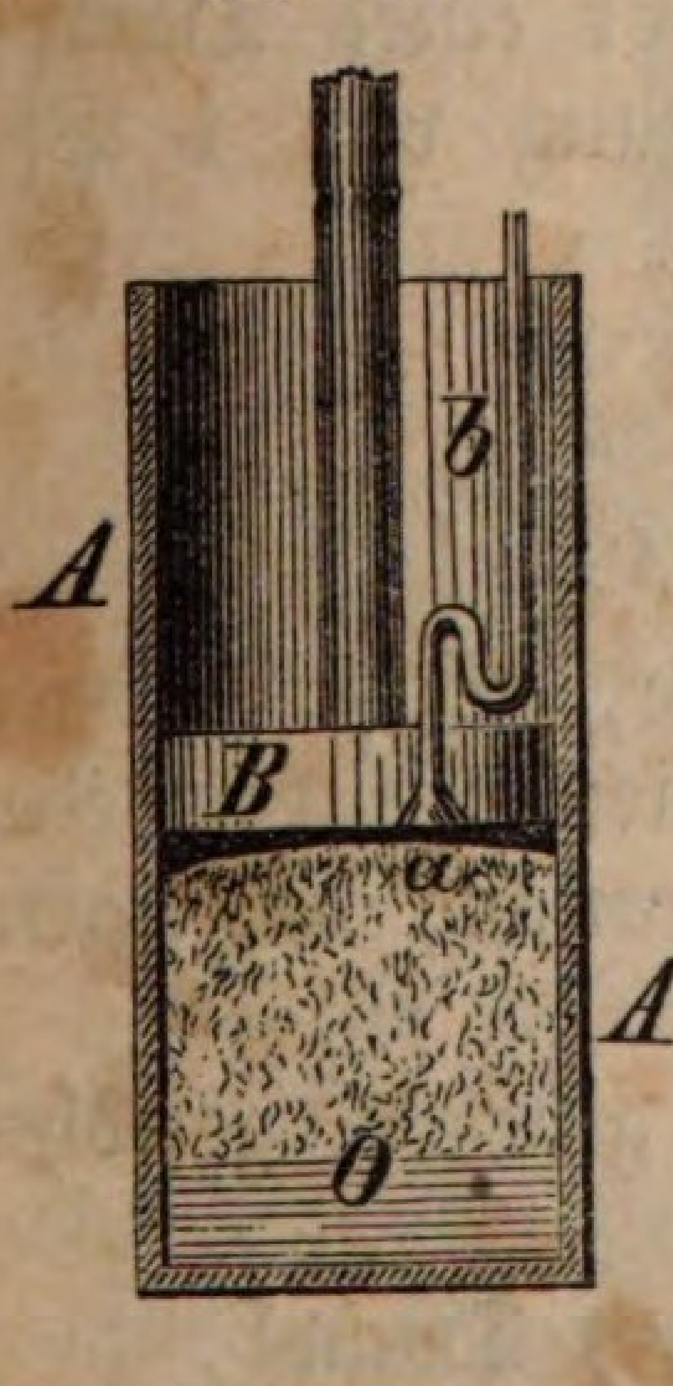
So ist Dampf von

2	Atmosph., d. i. von	121° *C.*	nur 900mal	leichter als Wasser,
3	Atmosph., d. i. von	135° *C.*	nur 620mal	leichter als Wasser,
4	Atmosph., d. i. von	145° *C.*	nur 477mal	leichter als Wasser,
5	Atmosph., d. i. von	153° *C.*	nur 388mal	leichter als Wasser,
6	Atmosph., d. i. von	160° *C.*	nur 326mal	leichter als Wasser,

Aus dem Grunde, daß der frei erzeugte Dampf schon einen Druck ausübt, der so groß ist, als der Luftdruck und dabei einen 1700mal größern Raum einzunehmen strebt, als das Wasser, aus dem er entstanden, Dampf von 2, 3 ꝛc. Atmosphären zwar einen geringern Raum, als Dampf von 1 Atmosph. einnimmt, aber fast in gleichem Verhältniß einen größern Druck ausübt, ist erklärlich, warum Dampf, wenn er eingeschlossen ist, einen so bedeutenden Druck ausübt, wie wir bei der Dampfmaschine sehen.

4) Wie aus Vorigem folgt, hat Dampf der **mit Wasser in Berührung ist**, bei jeder Temperatur eine bestimmte Spannung und eine bestimmte Dichtigkeit. Wird die Temperatur nicht weiter erhöht, so findet keine neue Dampfbildung statt. Solchen Dampf nennt man **gesättigten Dampf**, oder sagt auch wohl der **Raum sei gesättigt**.

Fig. 232.



Würde die Temperatur abnehmen, so verwandelt sich der Dampf wieder theilweise zu Wasser, er wird **condensirt**, bis der Raum für diese Temperatur wieder gesättigt ist. Oder zieht man, auch ohne Erwärmung, den Kolben *B*, Fig. 232, zurück, so findet eine theilweise Verdampfung des vorhandenen Wassers statt, bis der Raum wieder gesättigt ist, während beim Zurückgehen des Kolbens der Dampf wieder anfängt sich zu condensiren.

5) Ist aber Dampf für sich allein abgeschlossen, wie in dem Cylinder eine Dampfmaschine, d. h. ohne mit Wasser in Berührung zu sein, und man zieht den Kolben zurück, so daß das Dampfvolumen zunimmt, so wird der Druck des Dampfs abnehmen,

*) Für andere Maße s. Anh.

und zwar, wie im XII. Abschn. B. 4 von allen Gasen schon gesagt wurde, geschieht dieses nach dem sogen. Mariotte'schen Gesetze, welches sagt, daß wie das Volumen des eingeschlossenen Dampfes (Gases) zu-, so dessen Spannkraft abnimmt, und umgekehrt; d. h. dehnt sich der Dampf in den dreifachen Raum aus, so drückt er nur noch mit $\frac{1}{3}$; preßt man ihn aber auf den halben Raum zusammen, ohne dabei den Sättigungsgrad zu überschreiten, so drückt er doppelt so stark.

Hiebei sollte freilich der Dampf gleiche Temperatur behalten, was nicht ganz der Fall bleibt, da ja bei sich ausdehnenden Gasen und Dämpfen Wärme gebunden und bei der Zusammenpressung solche wieder frei wird. Uebrigens ist die Aenderung in der Temperatur so gering, daß man, wie die spätern Berechnungen zeigen, hierauf keine Rücksicht nimmt.

6) Die Wärme, die man braucht, um 1 Pfd. Wasser in Dampf von beliebiger Temperatur und Spannung zu verwandeln, ist immer die gleiche. Man braucht nämlich, um 1 Pfd. Wasser von 0^0 in Dampf von jeder Spannung zu verwandeln, immerhin eine Wärmemenge von 650 Wärmeeinheiten.

Dies fällt auf; allein es hat seinen Grund darin, daß Dampf von höherer Spannung weniger gebundene, d. h. nicht empfindbare Wärme und mehr fühl- oder meßbare Wärme besitzt, als Dampf von niederer Spannung. Ein Pfund Dampf von 100^0 oder 1 Atmosphäre enthält also $650 - 100 = 550$ gebundene und 100 freie W.E., ein Pfund Dampf von 135^0 oder 3 Atmosphären aber enthält nur 650— — $135 = 515$ gebundene, dagegen 135 freie W.E.

Beweis des obigen Satzes dadurch, daß wenn man 1 Pfd. Dampf zu $5\frac{1}{2}$ Pfd. Wasser von 0^0 strömen läßt, man dann $6\frac{1}{2}$ Pfd. Wasser von 100^0 erhält.

Braucht man aber, um 1 Pfd. Wasser von 0^0 zu verdampfen 650 W.E., so braucht man, wenn das Speisewasser eines Dampfkessels schon eine Temperatur von t^0 hat, zur Erzeugung von 1 Pfd. Dampf nur eine

$$\text{Wärmemenge} = 650 - t \text{ W.E.},$$

und zur Erzeugung von n Pfd. Dampf, eine

$$\text{Wärmemenge} = n\,(650 - t) \text{ W.E.}$$

7) Vergleicht man nun die im letzten Abschnitte, Satz 9, mitgetheilten Brennwerthe der verschiedenen Brennmaterialien mit dem eben Gesagten, so ergibt sich, wieviel Brennmaterial man braucht, um irgend ein bestimmtes Dampfquantum zu erzeugen.

Darnach, sowie der sonstigen Erfahrung gemäß, gibt bei gewöhnlicher Temperatur des Speisewassers

1 Pfd. (*Kg.*)	Steinkohlen	5 — 7	Pfd. (*Kg.*)	Dampf,
1 „ „	Kohks	$4\frac{2}{3}$ — 6	„ „	„

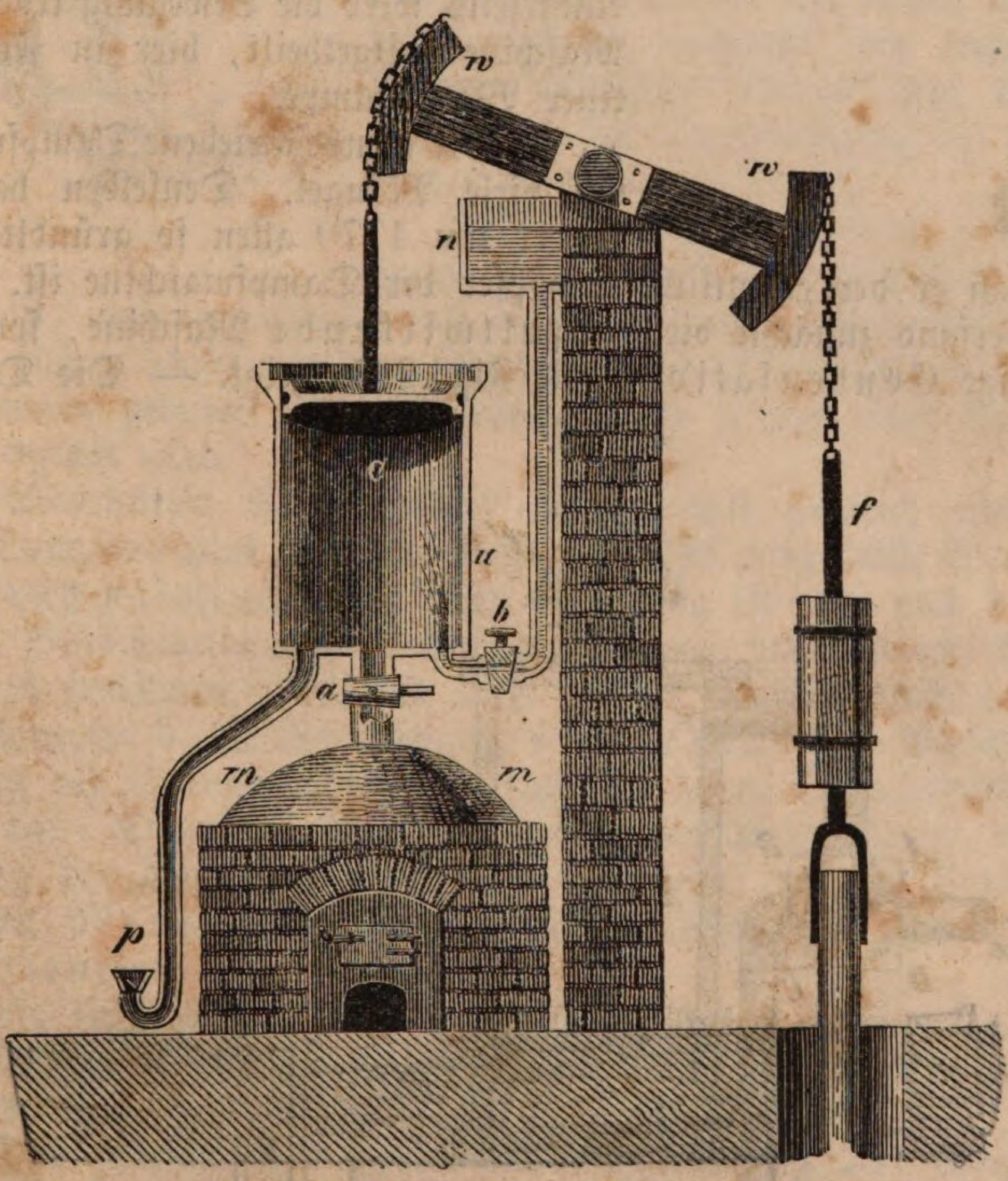
1 Pfd. (*Kg.*) Holzkohle 6 Pfd. (*Kg.*) Dampf,
1 „ „ Holz 2,5 — 2,7 „ „ „

Per Pferdekraft des Nutzeffekts einer Dampfmaschine braucht man in einer Stunde 5—6 ½ *Kg.* Steinkohlen und wenn Expansion und Condensation angewendet werden, nur 2,3 — 3,2 *Kg.*

B. Von den Dampfmaschinen.

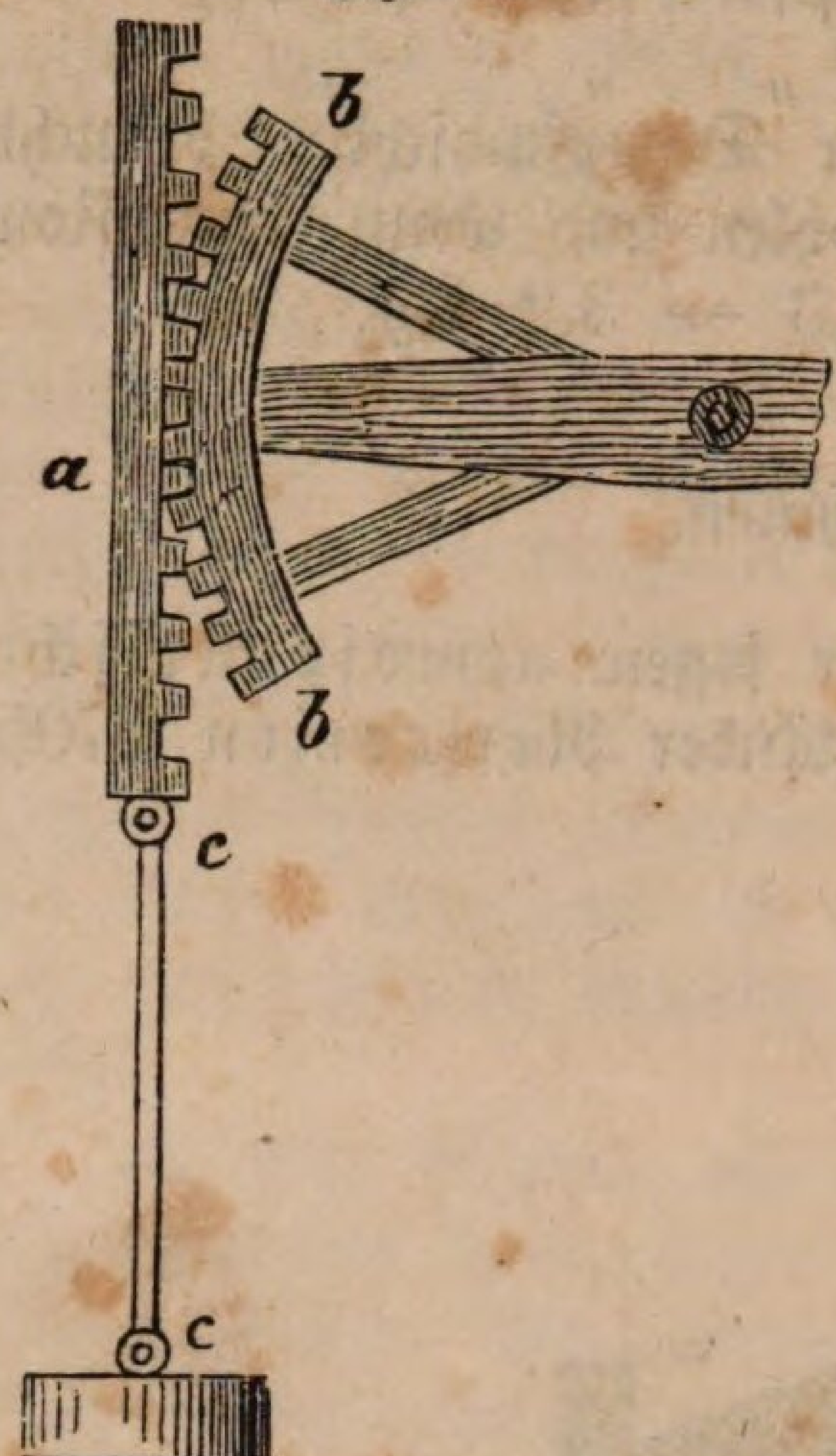
1) Die einfachste Dampfmaschine ist die sogen. atmosphärische Dampfmaschine, Fig. 233, von dem Engländer Newcomen 1705 erfunden.

Fig. 233.



Es ist *m* der Dampfkessel, *u* der Dampfcylinder mit dem Dampfkolben, *a* und *b* sind Hähne (Ventile) und *ww* der Balancier. — In dem Kessel entwickelt sich der Dampf, geht durch den geöffneten Hahn *a* in den Cylinder und drückt den Kolben nach oben. Ist der Kolben oben angekommen, so wird der Hahn *a* abgeschlossen

Fig. 234.

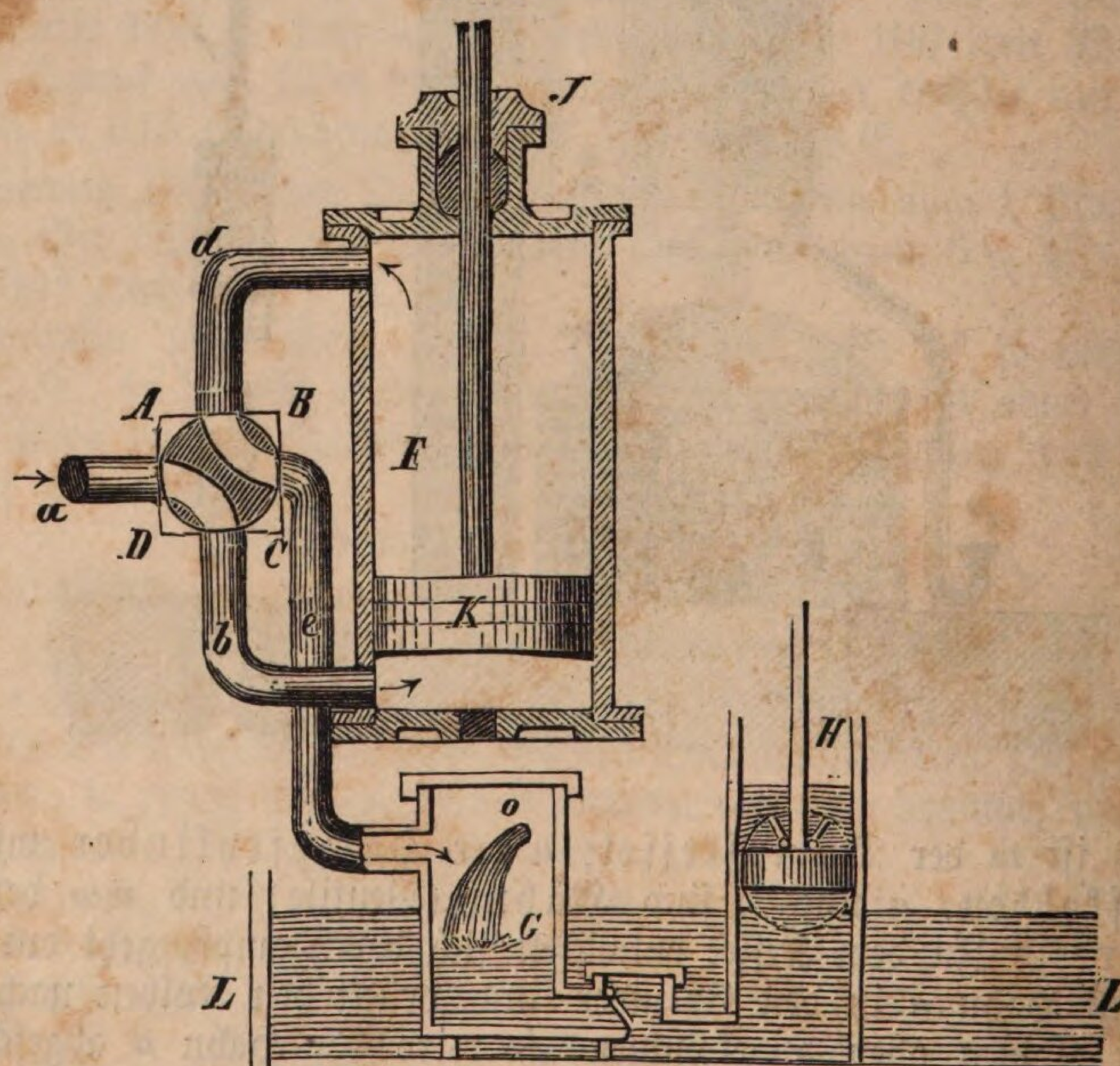


und ein anderer *b* geöffnet. Durch diesen strömt kaltes Wasser aus einem Behälter *n* in den Cylinder und kühlt den dort befindlichen Dampf so ab, daß er gerinnt (condensirt). — Dadurch entsteht unter dem Kolben ein leerer Raum und die atmosphärische Luft, die in dem oben offenen Cylinder einwirken kann, drückt den Kolben wieder abwärts. Durch Ketten oder auch durch ein Zahnwerk, Fig. 234, wird die Bewegung der Kolbenstange dem Balancier mitgetheilt, so daß er die wechselnde Bewegung der Kolbenstange mitmachen muß. Anderseits wird die Bewegung irgend einer Maschine mitgetheilt, hier in Fig. 233, einer Wasserpumpe.

2) Die ebenbeschriebene Dampfmaschine hat viele Mängel. Denselben hat Jak. Watt um 1770 allen so gründlich abgeholfen, daß er der eigentliche Schöpfer der Dampfmaschine ist.

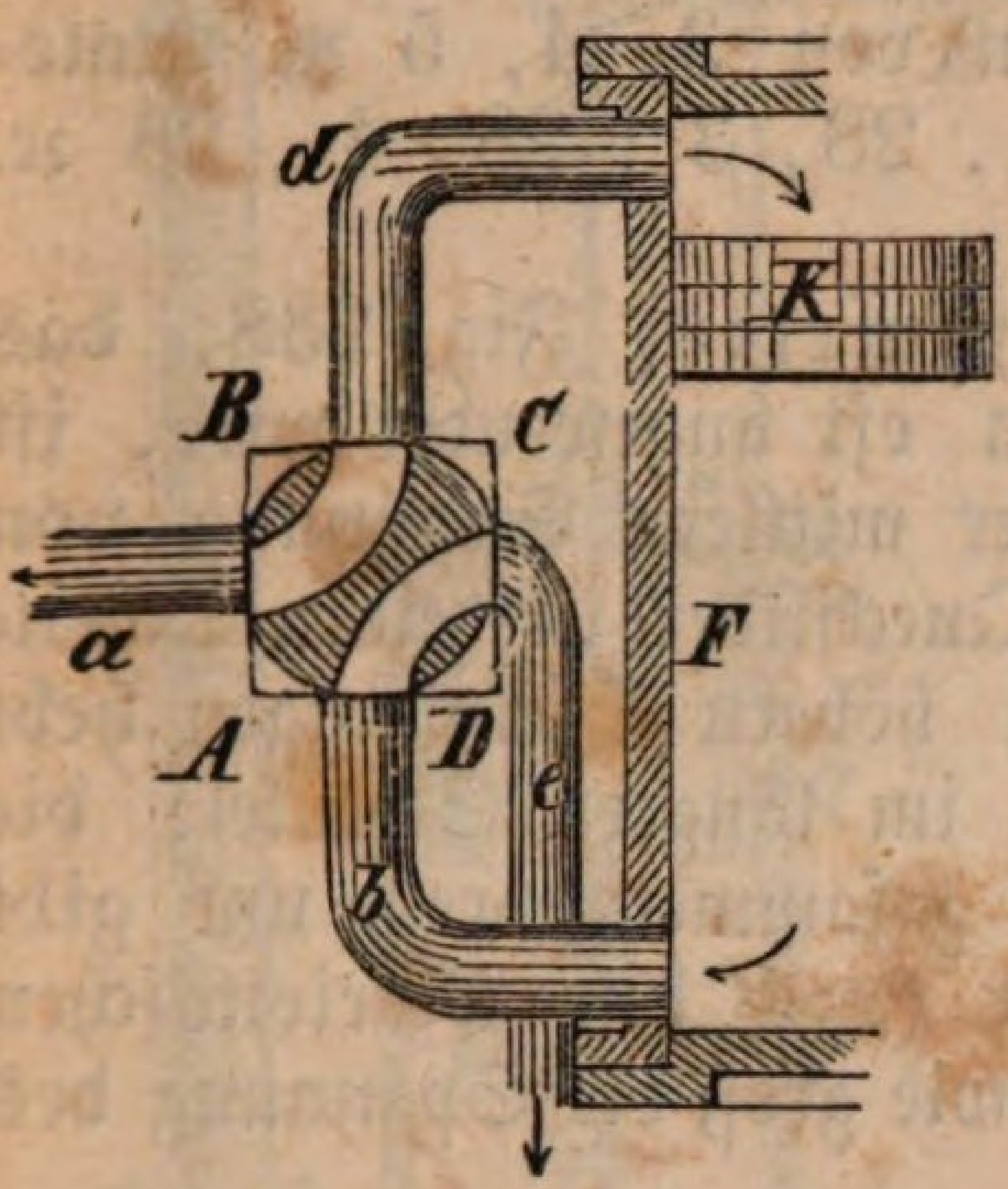
Er erfand zunächst die doppeltwirkende Maschine, sowie eine zweckmäßige Condensation, wie Fig. 235 zeigt. — Die Dampf-

Fig. 235.



zuleitungsröhre *a* ist mit einem sogen. Vierwegehahn *ABCD* verbunden, welcher selbst wieder mit Röhren *d* und *b*, welche oben und unten in den an beiden Enden geschlossenen Cylinder *F* führen, in Verbindung steht. Bei der Stellung Fig 235 geht der zugeleitete Dampf durch die eine Durchbohrung des Hahnes und die Röhre *b* unten in den Cylinder und drückt den Kolben aufwärts. Der Dampf, der über dem Kolben war, geht dann durch die Röhren *d* und *e* in den Condensator *G*. — Ist der Kolben oben angekommen, so nimmt der Hahn die Stellung Fig. 236 ein. Der zutretende Dampf gelangt nun durch die Röhre *d* oben in den Cylinder und drückt den Kolben abwärts, während der unter dem Kolben befindliche Dampf jetzt durch *e* und *b* und die Durchbohrung des Hahns in den Condensator strömt.

Fig. 236.



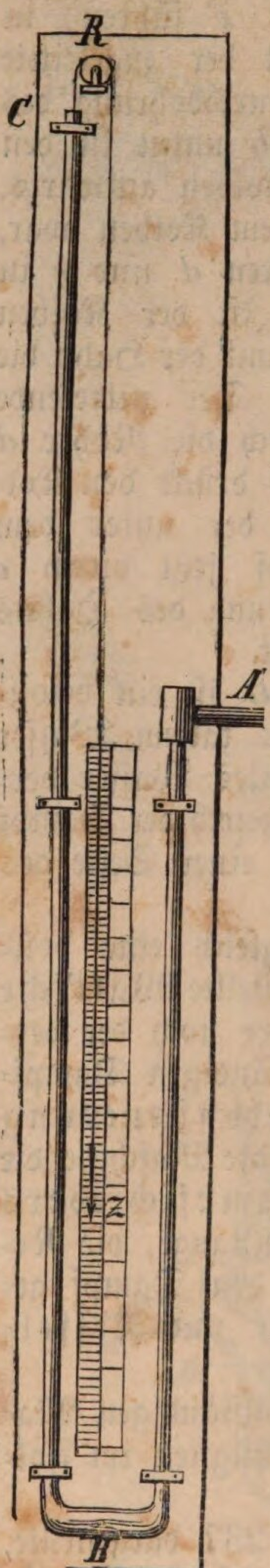
Der Condensator *G* ist ein besonderes Gefäß, welches von kaltem Wasser umgeben ist, und in welches durch eine Oeffnung *o* kaltes Wasser vermöge des äußern atmosphärischen Druckes einspritzt, wodurch der Dampf zum Gerinnen gebracht und ein leerer Raum je auf einer Seite des Kolbens erzeugt wird.

3) Sämmtliche Verbesserungen Watt's und zugleich eine vollständige Dampfmaschine zeigt die unten Fig. 248 dargestellte Watt'sche Niederdruckmaschine. Vor deren Erklärung ist aber noch der verschiedenen Bestandtheile und Einrichtungen einer vollständigen Dampfmaschine zu erwähnen. Es sind dies einmal die Selbststeuerung der Maschine, d. h. die Vorrichtung, vermöge welcher die Maschine die Verstellung des Vierwegehahns oder jetzt des sogen. Dampfschiebers selbst besorgt. Dann die Geradführung der Kolbenstange, die Regulirung der Bewegung, sowie die besondern für den Dampf gebräuchlichen Manometer, die Sicherheitsventile und Kesselconstruktionen.

Erstere sieht man bei den unten dargestellten vollständigen Maschinen; betreffs der andern Vorrichtungen sei des Wichtigsten im Folgenden gedacht:

4) Das zweckmäßigste Manometer ist das Fig. 237 dargestellte, welches aus einer eisernen Röhre *ABC* besteht, die bei *C* offen ist. In dem längern Schenkel des mit Quecksilber gefüllten Manometers ist ein sogen. Schwimmer, von welchem aus ein dünner Faden über eine Rolle *R* geht, der an seinem andern Ende einen Zeiger *Z* trägt, der die Dampfspannung angibt.

Fig. 237.



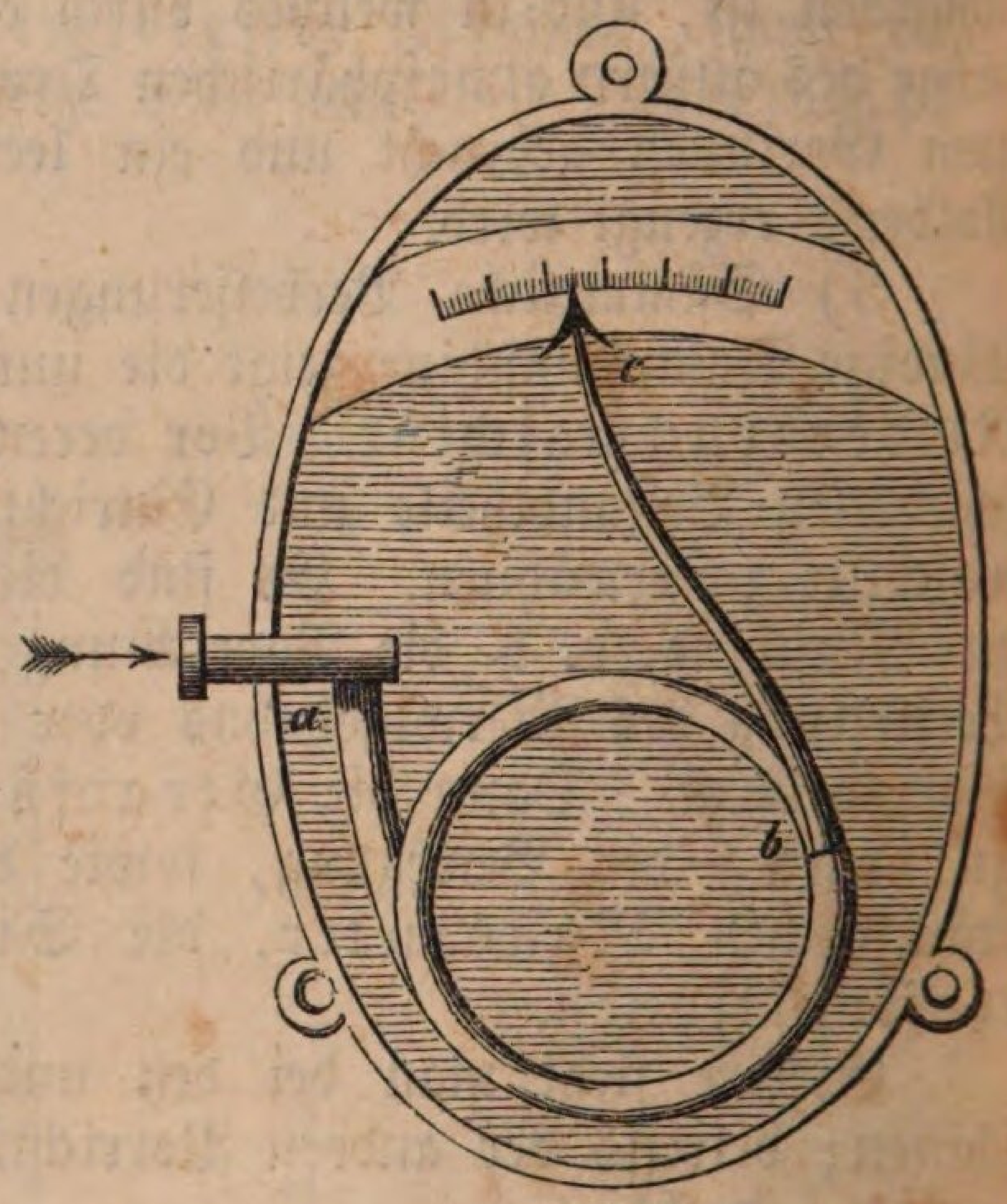
Dieses Manometer wird für höhere Dampfspannungen sehr lange, allein dennoch ist es, seiner Sicherheit wegen, in vielen Ländern, namentlich für feststehende Maschinen gesetzlich vorgeschrieben. — Da es den Ueberdruck über eine Atmosphäre angibt, weil in *C* die Luft einwirkt, so muß dann der Röhrenschenkel ***BC*** für Dampfspannungen von 3, 4, 5 rc. Atmosphären eine Länge von 2 . 28, 3 . 28, 4 . 28 rc. pariser Zollen haben.

Das sogen. Luftmanometer, Fig. 238, das für hohe Dampfspannungen oft angewendet wird, ist so construirt, daß bei einer mittlern Spannung von z. B. 3 Atmosphären das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Bei höhern Spannungen hebt sich dann das Quecksilber im längern Schenkel; die dort vorhandene Luft wird zusammengepreßt und gibt durch ihren kleinern Raum (nach dem Mariotte'schen Gesetz, Seite 152) nun an, wie groß die Spannung des Dampfes ist.

Fig. 238.



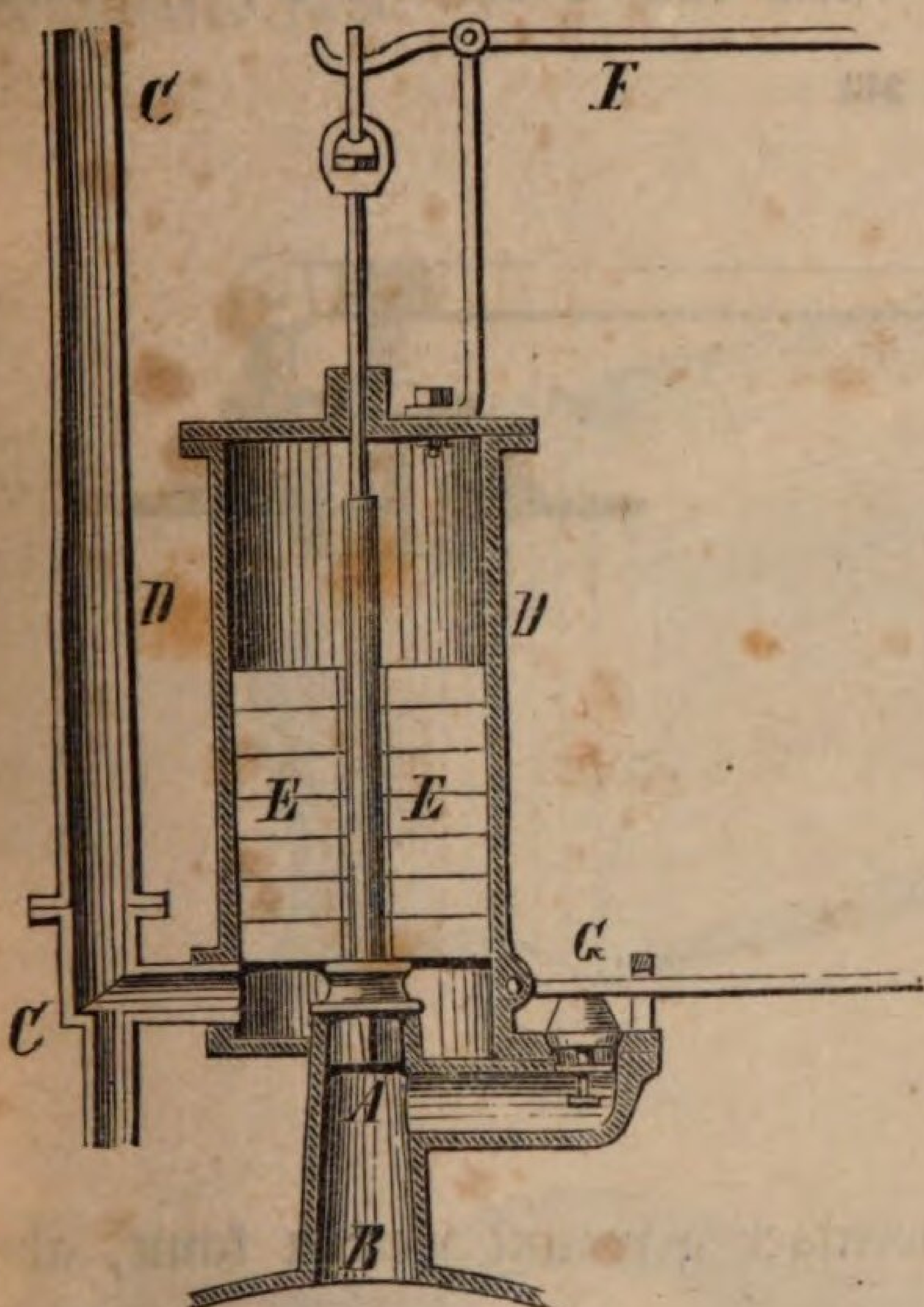
Fig. 239.



Ein Manometer von ganz eigenthümlicher Einrichtung ist Fig. 239. — Dasselbe besteht bloß aus einer hohlen, gewundenen Metallröhre *ab*. Wenn Dampf bei *a* in die am andern Ende *b* geschlossene Röhre einströmt, so sucht sich diese vermöge des vom Dampfe ausgeübten Drucks zu entrollen. Ein in *b* mit der Röhre verbundener Zeiger *c* bewegt sich dann auf einer Skale und zeigt die Dampfspannung an.

Federmanometer für Locomotive, wobei der Dampf auf einen Kolben oder eine Platte drückt, die mit dem kürzern Arm eines Winkelhebels oder mit Zahn- und Zeigerwerk verbunden sind.

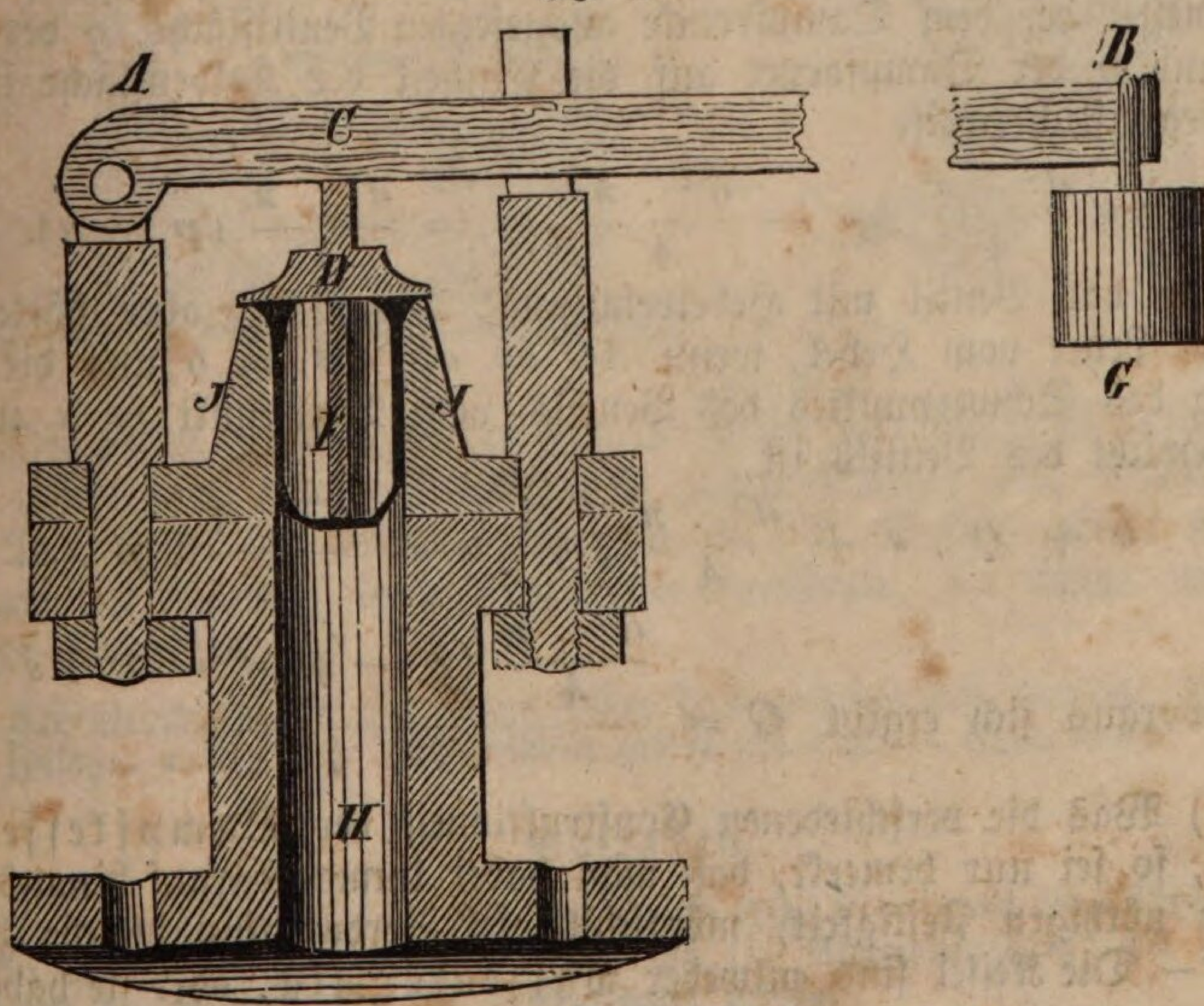
Fig. 240.



5) Die Sicherheitsventile, welche bei zu hoher Dampfspannung durch diese geöffnet werden sollen, damit der Dampf ausströmen kann, sind bisweilen Gewichtsventile mit direkter Belastung, wie Fig. 240. — Das Ventil ***A*** sitzt oben auf einem Rohr ***B***, dem Ventilsitze. Gewichte ***EE***, die über die Ventilstange geschoben sind, drücken das Ventil fest an. Mit dem Hebel ***F*** kann das Ventil von Hand gehoben werden. ***G*** ist ein Nebenventil zum Lüften. ***CD*** ist die Abflußröhre — oben für den Dampf, unten für das condensirte Wasser.

Gewöhnlich aber sind es Ventile mit Hebelbelastung, Fig. 241, bei welchen das Gewicht ***G*** an einem Hebel wirkt. Man sieht in der Figur die Construktion des

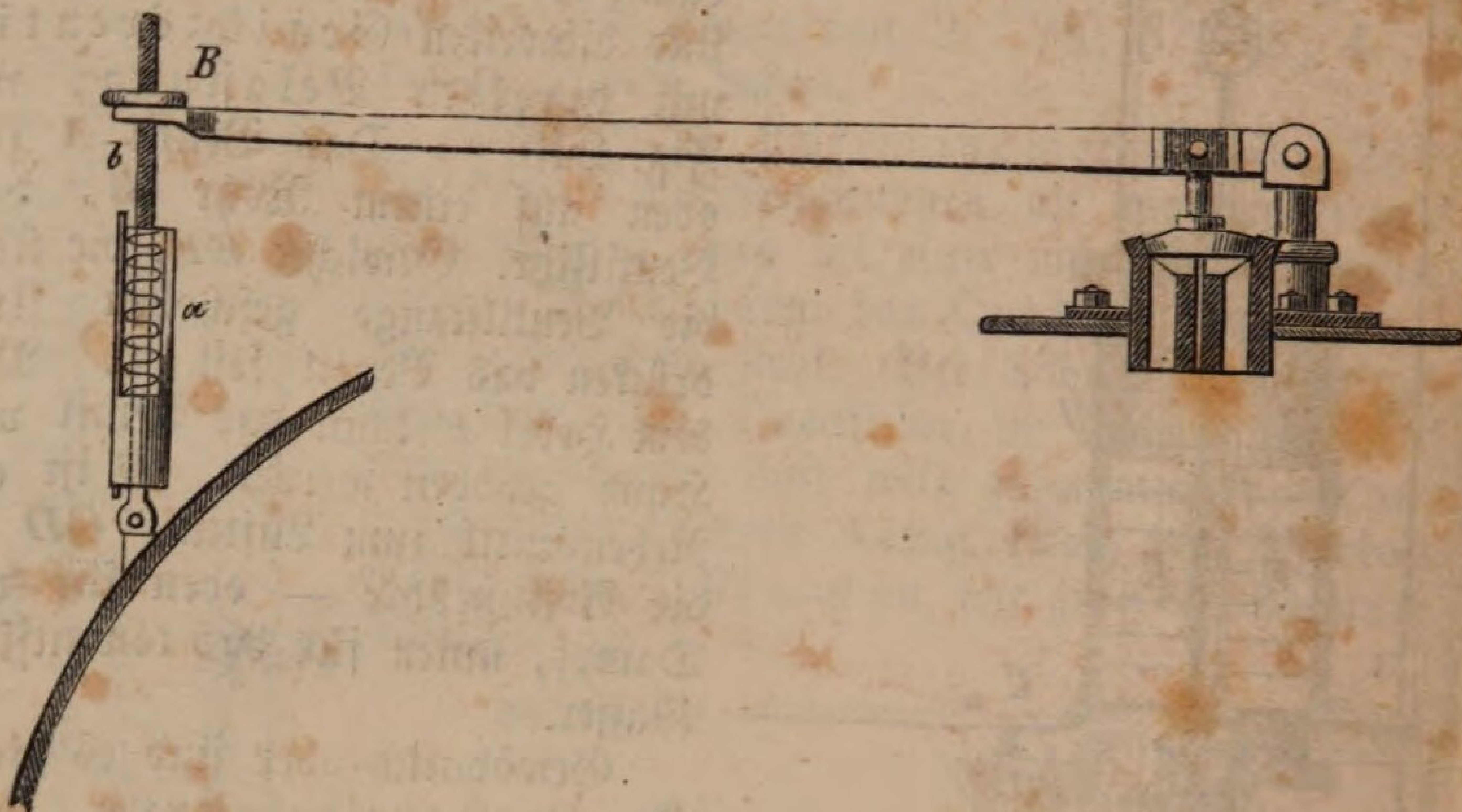
Fig. 241.



Ventils deutlich. Die Ventilplatte darf nur auf einer genau geschliffenen, schmalen Ringfläche des Ventilsitzes aufruhen, damit es sich beim geringsten Ueberdruck des Dampfes hebt.

Bei den Federventilen, Fig. 242, wie sie bei den Locomotiven gebräuchlich sind, wird der Hebel durch eine Stahlfeder *a*, die durch

Fig. 242.



die Schraubenmutter *B* mehr oder weniger gespannt werden kann, abwärts gezogen.

6) Wenn *G* das wirksame Gewicht des Ventils, Fig. 240, *d* der Durchmesser der dem Dampfdrucke ausgesetzten Ventilfläche, *q* der Luftdruck und *p* der Dampfdruck auf die Einheit der Kolbenfläche ist, so wäre begreiflicherweise

$$G = \frac{d^2 . \pi}{4} . p - \frac{d^2 . \pi}{4} . q = \frac{d^2 . \pi}{4} (p - q).$$

Für das Ventil mit Hebelbelastung, Fig. 241, aber hätte man nach der Lehre vom Hebel, wenn $AC = a$, $AB = b$ und die Entfernung des Schwerpunktes des Ventils vom Drehpunkt $= s$ und Q das Gewicht des Ventils ist,

$$G . b + Q . s + \frac{d^2 . \pi}{4} . q . a = \frac{d^2 . \pi}{4} . p . a.$$

woraus sich ergibt $$G = \frac{\frac{d^2 . \pi}{4} (p - q) a - Q . s}{b}.$$

7) Was die verschiedenen Construktionen der Dampfkessel anbetrifft, so sei nur bemerkt, daß man dabei immer darauf hinaus geht, bei der nöthigen Festigkeit, möglichst viel Verdampfungsfläche zu erhalten. — Die Kessel sind entweder walzenförmig, oder sie haben die

Form eines **Koffers** mit abgerundeten Kanten, wie Fig. 243. Oder es sind besondere **Züge** und **Heizröhren**, wie in Fig. 244 oder besondere **Siederöhren**, wie in Fig. 245 angebracht. Oder der Kessel ist ein sogen. **Röhrenkessel**, wie man weiter unten bei der Locomotive sieht.

Fig. 243.

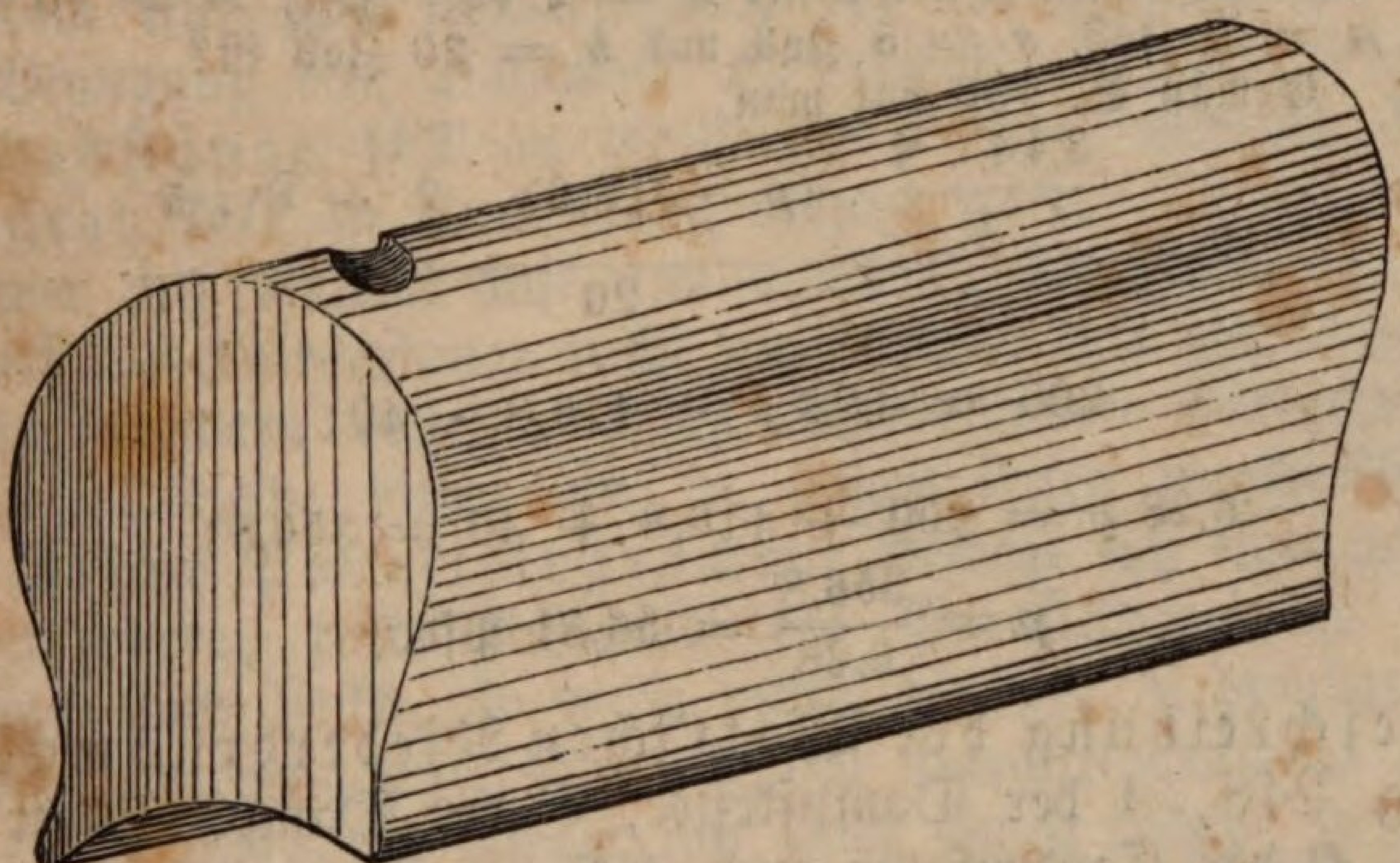


Fig. 244.

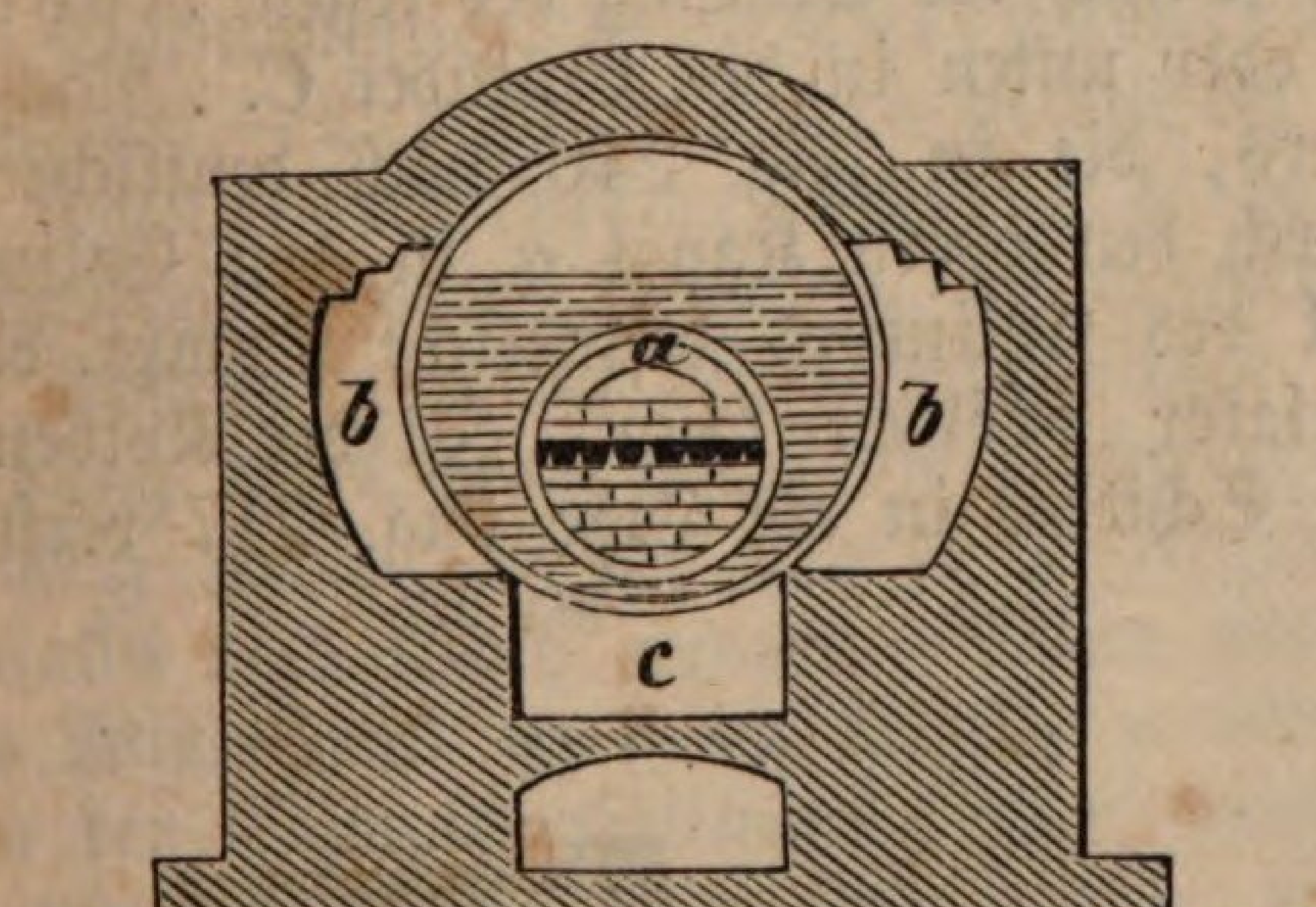
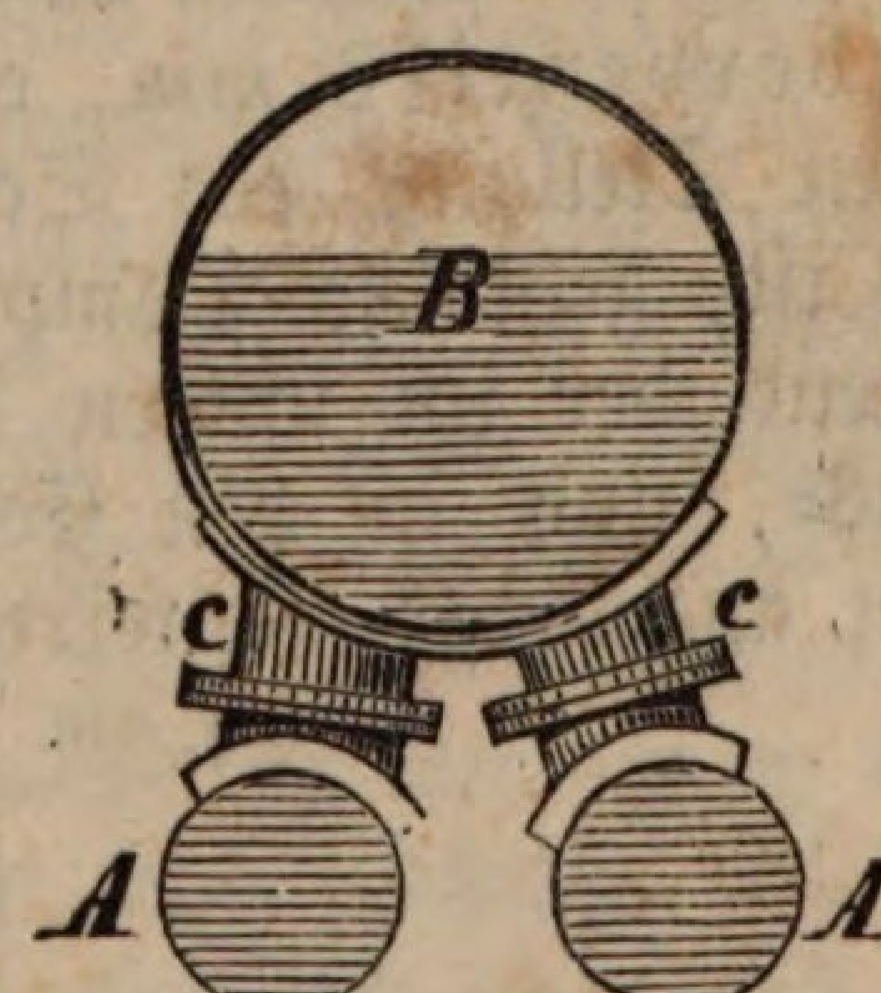


Fig. 245.



Die Kessel wurden früher von Gußeisen und Kupferblech verfertigt. Jetzt macht man solche meistens aus gutem Eisen-, auch Stahlblech.

Der Kessel soll nur bis etwa zu $^2/_3$ mit Wasser gefüllt sein und es darf die Flamme keine Wandstelle berühren, die innen nicht mit Wasser benetzt ist.

Kesselsteinbildungen aus mineralischen Bestandtheilen des Wassers. Verhütung durch Zusätze, welche diese Bestandtheile gelöst erhalten. — Explosionen! —

Aufgaben.

1ste **Aufgabe**. Wie schwer muß das Ventil Fig. 240 sammt Belastung sein, um bei einer Dampfspannung, die mehr als $1^1/_2$ Atmosphären ist, sich zu öffnen, wenn der Ventildurchmesser 5 Centimeter beträgt?

Auflösung. Nach S. 180 ist $G = \frac{d^2\pi}{4}(p - q)$; folglich, da per 1 □Centimeter $q = 1{,}0336$ *Kg.*, und $p = 1^1/_2 \cdot 1{,}0336$ *Kg.*, also $p - q = 0{,}5168$ *Kg.* ist, erhält man

$$G = \frac{25 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 0{,}5168 = 10{,}14 \ Kg.$$

2te Aufgabe. Bei welcher Dampfspannung öffnet sich das Sicherheitsventil Fig. 241, wenn dessen Durchmesser $d = 2$ bad. Zoll, $G = 10$ Pfd., $Q = 8$ Pfd., $a = 2$ Zoll, $s = 5$ Zoll und $b = 20$ Zoll ist?

Auflösung. Gemäß S. 180 hat man

$$10 = \frac{\frac{3{,}14 \cdot 4}{4} \cdot (p - 18{,}6) \cdot 2 - 8 \cdot 5}{20};$$

folglich

$$200 = 6{,}28\,p - 116{,}8 - 40;$$

somit

$$6{,}28\,p = 200 + 116{,}8 + 40 = 356{,}8;$$

und

$$p = \frac{356{,}8}{6{,}28} = 56{,}81 \text{ Pfd.}$$

8) **Beschreibung der Watt'schen Niederdruckmaschine.** — Es ist, Fig. 248, *A* der Dampfkessel, *C* der Dampfcylinder mit dem Kolben *M*, *D* der Condensator und *FF* der Balancier. Der Dampf gelangt aus dem Kessel durch die Röhre *L* in die sogen. **Dampfkammer** *nn* und von da aus, je nach der Stellung des sogen. **Röhrenschieberventils** *mm*, oben oder unten in den Cylinder *C*. Nach der jetzigen Stellung des Schiebers, die in Fig. 246 noch deutlicher zu sehen ist, geht der Dampf durch den obern Kanal *g* in den Cylinder, während der im untern Theil des Cylinders befindliche Dampf durch *h* aus-, und in den Condensator strömen kann. Ist der Kolben *M* unten angelangt, so wird der Schieber in die Lage Fig. 247 verstellt.

Fig. 246.

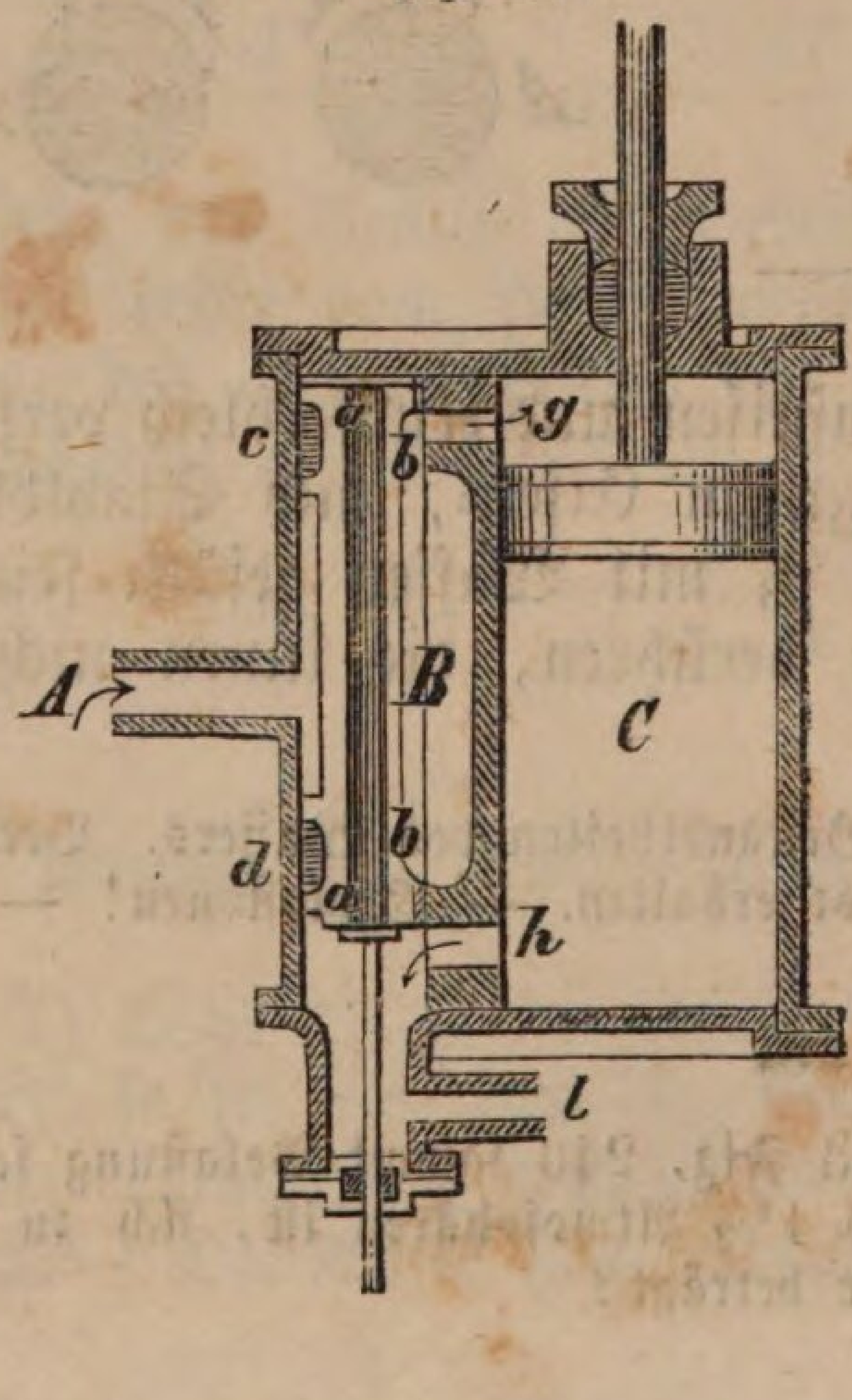
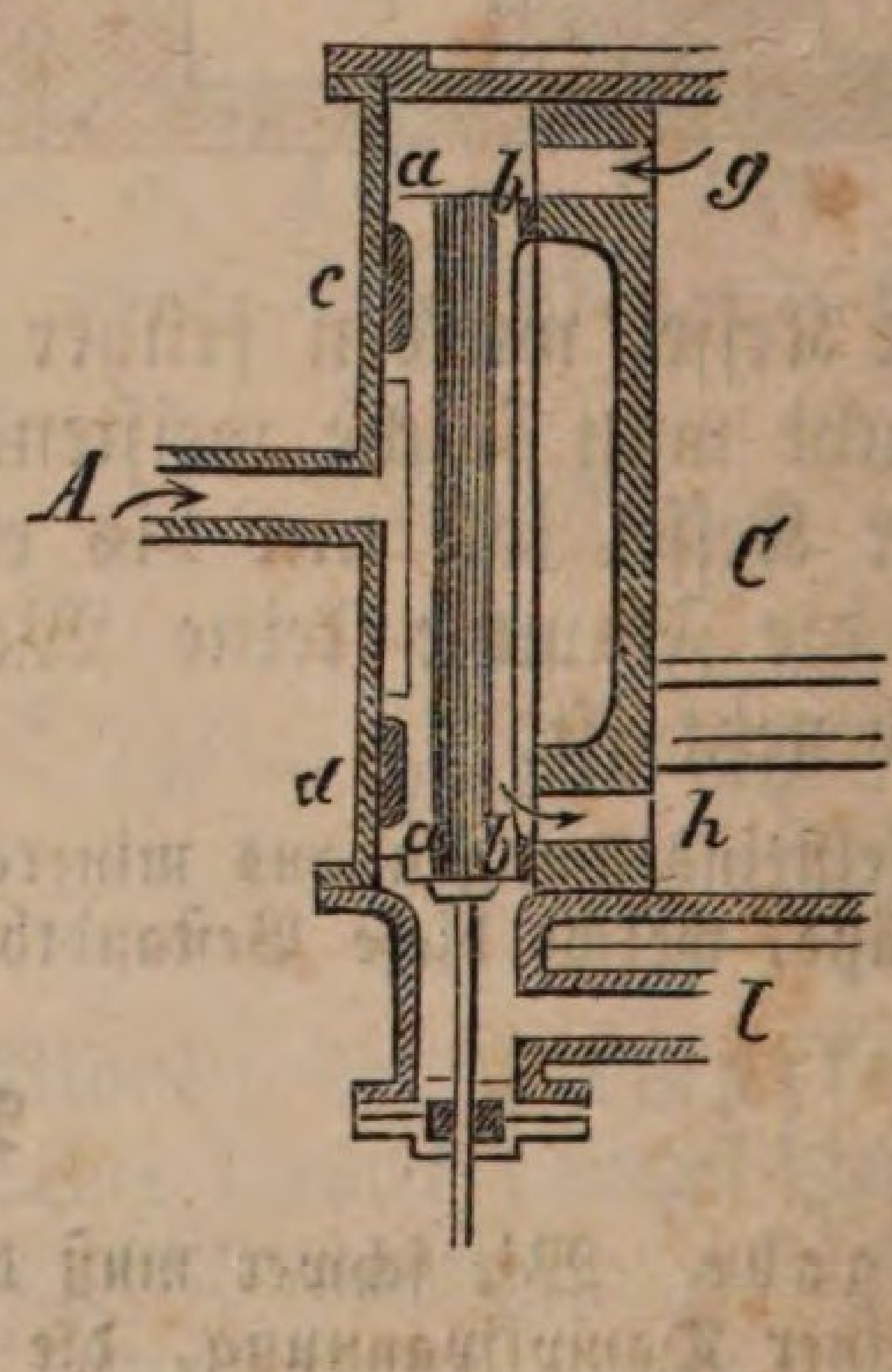


Fig. 247.



Der aus dem Kessel kommende Dampf muß jetzt unten in den Cylinder treten, während der über dem Kolben befindliche Dampf in *g* austritt und durch die Röhre *aa* des Ventils in den Condensator gelangt. — Oben und unten vortretende Ansätze des Ventils, sowie die Liederungen bei *c* und *d*, Fig. 246 und 247, verhindern, daß der Dampf einen andern Weg macht, als den genannten.

Bei dem Auf- und Abwärtsgehen der Kolbenstange *S*, Fig. 248, wird die Bewegung dem Balancier *FF* mitgetheilt, von dem aus die sogen. Schubstange *WT* an die Kurbel *T* geht, wodurch endlich das Schwungrad *HH* in Umdrehung versetzt wird. Damit die Kolbenstange immer nur vertikal auf- und abwärts, überhaupt geradlinig sich bewegt, darf die Kolbenstange nicht unmittelbar mit dem Balancier verbunden sein, sondern dieselbe ist an eine besondere Vorrichtung *ONO* aufgehängt. Dieselbe bildet ein in seinen Ecken verschiebbares, das sogen. Watt'sche Parallelogramm. Bewegt sich nun mit dem Balancier der obere, linke Eckpunkt des Parallelogramms bei einer Schwingung nach links, so wird durch die um *N* drehbare Gegenstange der entgegengesetzte Eckpunkt des Parallelogramms nach rechts geschoben, und umgekehrt bewegt sich jener Punkt rechts, so wird dieser nach links gezogen. Hieraus folgt, daß sich der Aufhängepunkt der Kolbenstange immer in einer lothrechten Linie auf- und abbewegt.

Eigenthümlich sind die Selbststeuerung und die Regulirung der Maschine. — Behufs der erstern ist mit der Schwungradaxe *G*, Fig. 248, eine sogen. excentrische Scheibe *U* verbunden. Um diese geht ein verschiebbarer sogen. Halsring, an welchem das Gestänge *ZY* befestiget ist. Kommt nun bei der gegenwärtigen, durch den Pfeil angegebenen Drehung des Schwungrads die größere Hälfte der excentrischen Scheibe allmälig rechts von der Axe *G* zu liegen, so wird das Gestänge *ZY* ebenfalls nach rechts gezogen. Dann aber bewegt sich der um *g* drehbare Winkelhebel *ugY* im Punkte *u* abwärts, eine Stange *u*3 zieht dann den Dampfvertheilungsschieber ebenfalls abwärts und gibt ihm die zweite Stellung, Fig. 247 u. s. f. Soll die Maschine stille stehen, so wird die Steuerungsstange in *Y* ausgehängt. — Die Regulirung der Bewegung wird durch den sogen. Centrifugalregulator und zwar so bewirkt, daß mit dem Schwungrad ein Winkelrad verbunden ist, das in ein zweites Rad *tt* eingreift. Dieses sitzt auf einer Axe oder Spindel *yt*, mit deren oberem Ende ein, in seinen Ecken verschiebbares Parallelogramm so verbunden ist, daß es in *y* in eine, die Axe umschließende Hülse endigt, die auf der Spindel selbst verschiebbar ist.

An den Endpunkten der obern längern Arme des Parallelogramms sind schwere Kugeln *K* angebracht. Gelangt nun das Schwungrad in eine zu rasche Bewegung, so wird diese dem Rad *tt* und dessen Axe mitgetheilt. Bei beschleunigtem Umschwung fliegen aber die Kugeln *K* auseinander, die Hülse *y* hebt sich, ein Winkelhebel *ygh* verstellt sich so, daß die Stange *hh* sich nach links bewegt. An ihrem anderen,

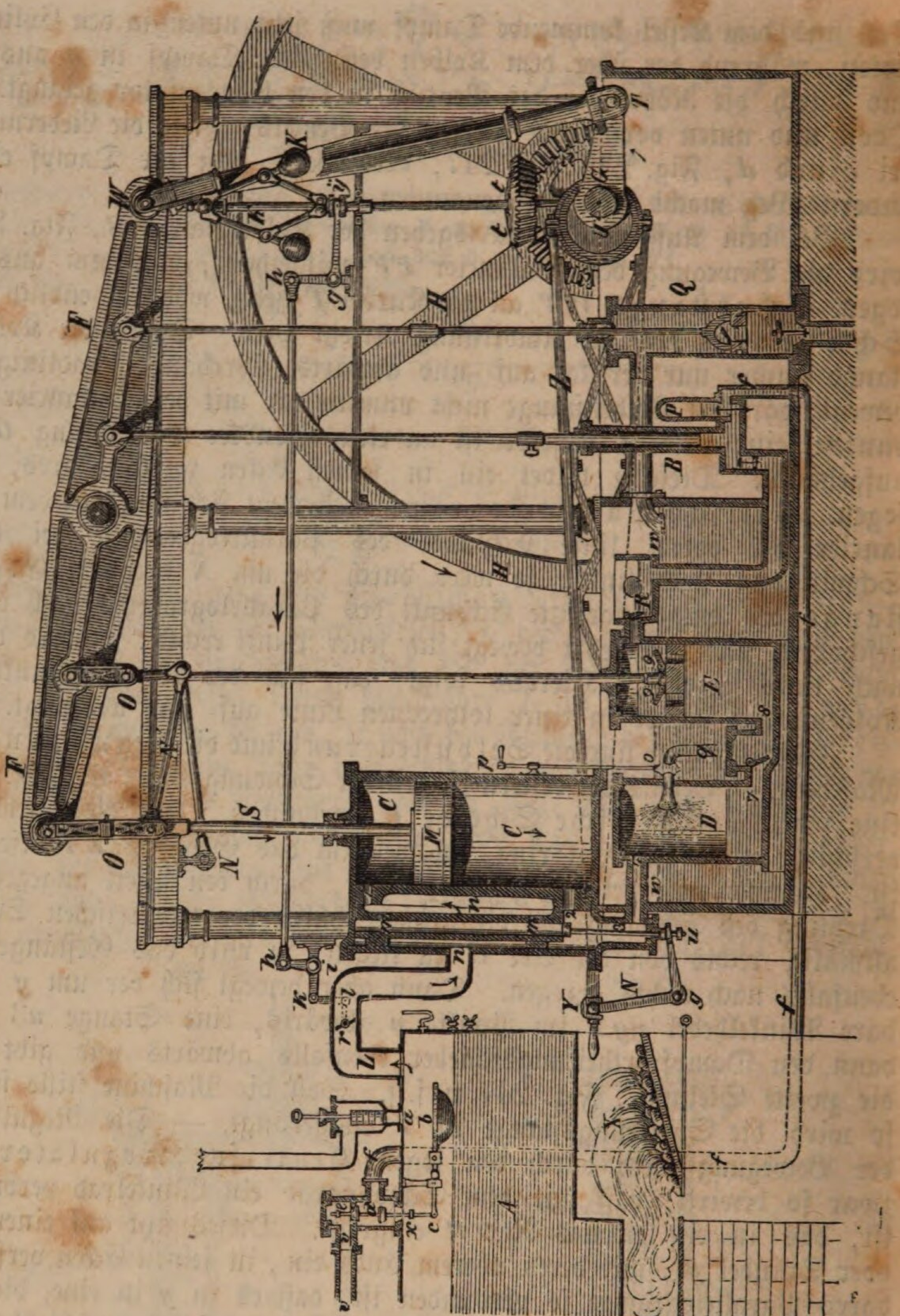


Fig. 248.

linken Ende wirkt diese Stange auf einen zweiten Winkelhebel ***hik*** so, daß das sogen. Drosselventil *r* die Dampfzuleitungsröhre mehr abschließt. Umgekehrt werden bei zu langsamer Bewegung die Kugeln mehr abwärts hängen und den Hebeln und dem Ventile die entgegengesetzte Lage geben, wobei dann mehr Dampf in die Maschine strömt und die Bewegung dadurch wieder beschleunigt wird.

Was die übrigen Bestandtheile der Maschine betrifft, so ist *D* der Condensator, in welchen durch eine Röhre *o*, die durch *p* verschließbar ist, Wasser aus dem umgebenden großen Behälter in feinen Strahlen eindringen kann. Das verdichtete, sowie das eingespritzte Wasser werden durch die sogen. Luftpumpe *E*, die einer gewöhnlichen Hebepumpe ganz gleich ist, fortgeschafft. Dieses Wasser fließt zum Theil in *R* aus, oder aber es wird vermittelst einer Druckpumpe, der sogen. Speisepumpe *B* durch die Röhre *ff* in den Kessel gepreßt. *P* ist der Windkessel der Pumpe. — Durch die Kaltwasserpumpe *Q* endlich gelangt fortwährend kaltes Wasser in das genannte Reservoir, das den Condensator umschließt und bis *vw* angefüllt ist. Die Stangen der drei Pumpen sind alle mit dem Balancier verbunden und wird das Spiel der Pumpen also durch die Maschine selbst ebenfalls besorgt.

Am Kessel sieht man noch zwei Hähne, wovon der untere beim Oeffnen Wasser, der obere aber Dampf geben soll. Ferner ist ein Manometer und in *a* ein Sicherheitsventil sichtbar. Endlich noch ist *b* ein sogen. Schwimmer, der mit dem Speiseventil *ed* verbunden ist. Bei niedrigem Wasserstand im Kessel sinkt der um einen Punkt drehbare Schwimmer, das Ventil hebt sich und das durch die Speiseröhre *ff* zufließende Wasser tritt durch die Oeffnung *e* in den Kessel. Bei hohem Wasserstande aber geht das Ventil abwärts und verschließt den Zugang zum Kessel; das aus der Röhre *ff* gelangende Wasser fließt dann durch die Röhre *v* in's Freie.

9) Man nennt die eben beschriebene Dampfmaschine eine Niederdruckmaschine, da solche einen Dampf von höchstens 1 ½ Atmosphären verbraucht. Maschinen, die für eine Dampfspannung bis 3 Atmosphären berechnet sind, heißen Mitteldruckmaschinen und Maschinen mit Dampf von 5—6 Atmosphären Hochdruckmaschinen.

Niederdruckmaschinen müssen immer Condensation haben, damit der Gegendruck, der dann $^1/_{10}$ Atmosphäre nicht übersteigt, gering, also eine starke Ueberwucht des Dampfes da ist. Mittel- und Hochdruckmaschinen aber können die Condensation entbehren und fallen dann in ihrer Construktion viel einfacher aus, wie z. B. die Locomotive. Bei diesen wirkt dann wenigstens 1 Atmosphärendruck entgegen; — da aber der abziehende Dampf auch noch einige Hindernisse beim Austreten findet, muß man den Gegendruck bei Maschinen ohne Condensation zu 1 ¼ Atmosphären annehmen.

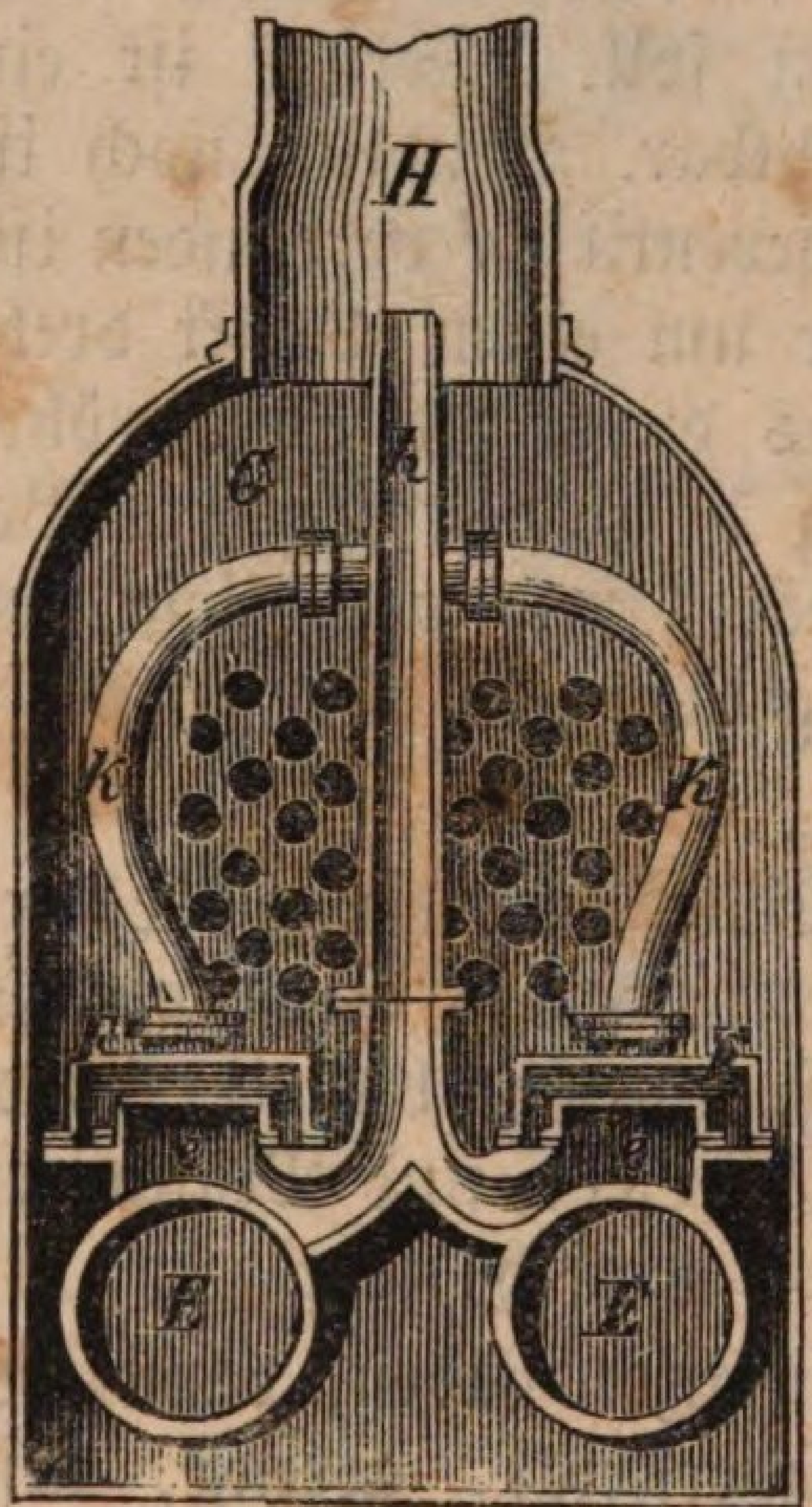
Hochdruckmaschinen arbeiten sehr oft auch mit Expansion und heißen dann Expansionsmaschinen. — Bei denselben ist dann die Einrichtung getroffen, daß nur eine Zeit lang, z. B. während eines ¼ oder ⅓ eines Hubes frischer Dampf in den Cylinder strömt. Hierauf wird der Cylinder abgesperrt und der eingeschlossene Dampf muß nun durch seine bloße Ausdehnung (Expansion) wirken. Dabei wird natürlich die Spannung des Dampfes in dem Verhältniß geringer,

als das Dampfvolumen zunimmt, und es kann darum nur bei Dampf von höherer Spannung eine Absperrung eintreten.

Der Nutzen der Condensation und Expansion besteht hauptsächlich in der Ersparung von Brennmaterial. Die Condensation hat auch noch den Vortheil, daß — da fast immer nur das nämliche Wasser in den Kessel zurückkehrt — dadurch die Bildung des Kesselsteins verhütet wird. Ohne eingeführte Expansion aber geht alle Wirkung, die der Dampf durch seine Ausdehnung noch verrichten kann, verloren.

10) Beschreibung der Locomotive. Diese ist eine Hochdruckmaschine, ohne Condensation, und wie sie in Fig. 250 dargestellt ist, auch ohne Expansion. — *A* ist der Feuerungsraum. Der wasserhaltende Theil *B*, *B* des Kessels, der ein sogen. Röhrenkessel ist, umgibt zum Theil den Feuerraum *A*. Dadurch, sowie durch zahlreiche Heizröhren *bb*, welche den Kessel durchziehen und durch welche die brennenden Gase, Rauch &c. abgehen müssen, erhält man eine große Heizfläche. *CC* ist das Dampfzuleitungsrohr, welches sich in zwei Arme *k*, *k* Fig. 249 theilt, die nach den auf beiden Seiten der Maschine befindlichen Dampfcylindern *E*, *E* führen. Durch die Kolbenstange *Ko* und die damit verbundene Treibstange *oi* wird die Kolbenbewegung mittelst der Kurbel *ic* auf die zwei mittlern, um die Axe *c* drehbaren Locomotivräder übertragen, und also die Fortbewegung des Dampfwagens bewirkt. — Das Muschelschieber- oder Schiebladenventil *g*, welches den Dampf bald über, bald unter den Kolben *K* leiten soll, wird durch die Stange *ss* vermittelst des um *x* drehbaren Hebels *mn* und zwar auf folgende Art in Bewegung gesetzt:

Fig. 249.



Der Hebel *mn* trägt an seinem untern Ende *n* zwei sich gegenüberstehende Zapfen. Der eine dieser Zapfen wird nun entweder — und zwar gerade jetzt — von dem gabelförmigen Eisen *n* ergriffen; oder aber dies Eisen wird ausgelöst, und die gleichgestaltete Gabel *q* kommt mit dem entgegengesetzten Zapfen zum Eingriff. Die Gabel *n* ist mit der Stange *MM*, und die Gabel *q* mit einer ähnlichen Stange *NN* fest verbunden. Die Stange *MM* endigt andrerseits in einen losen Ring, welcher die, mit der Radwelle *c* festverbundene excentrische Scheibe *ε* umschließt; und ebenso ist das Ende von *NN* mit einem gleichen, die excentrische Scheibe *π* umschließenden Halsbande versehen. Die beiden excentrischen Scheiben liegen sich gerade gegenüber, so daß der Mittelpunkt der Scheibe *ε* zwischen *c* und *ε*, und der der Scheibe *π* zwischen *c* und *π* sich befindet.

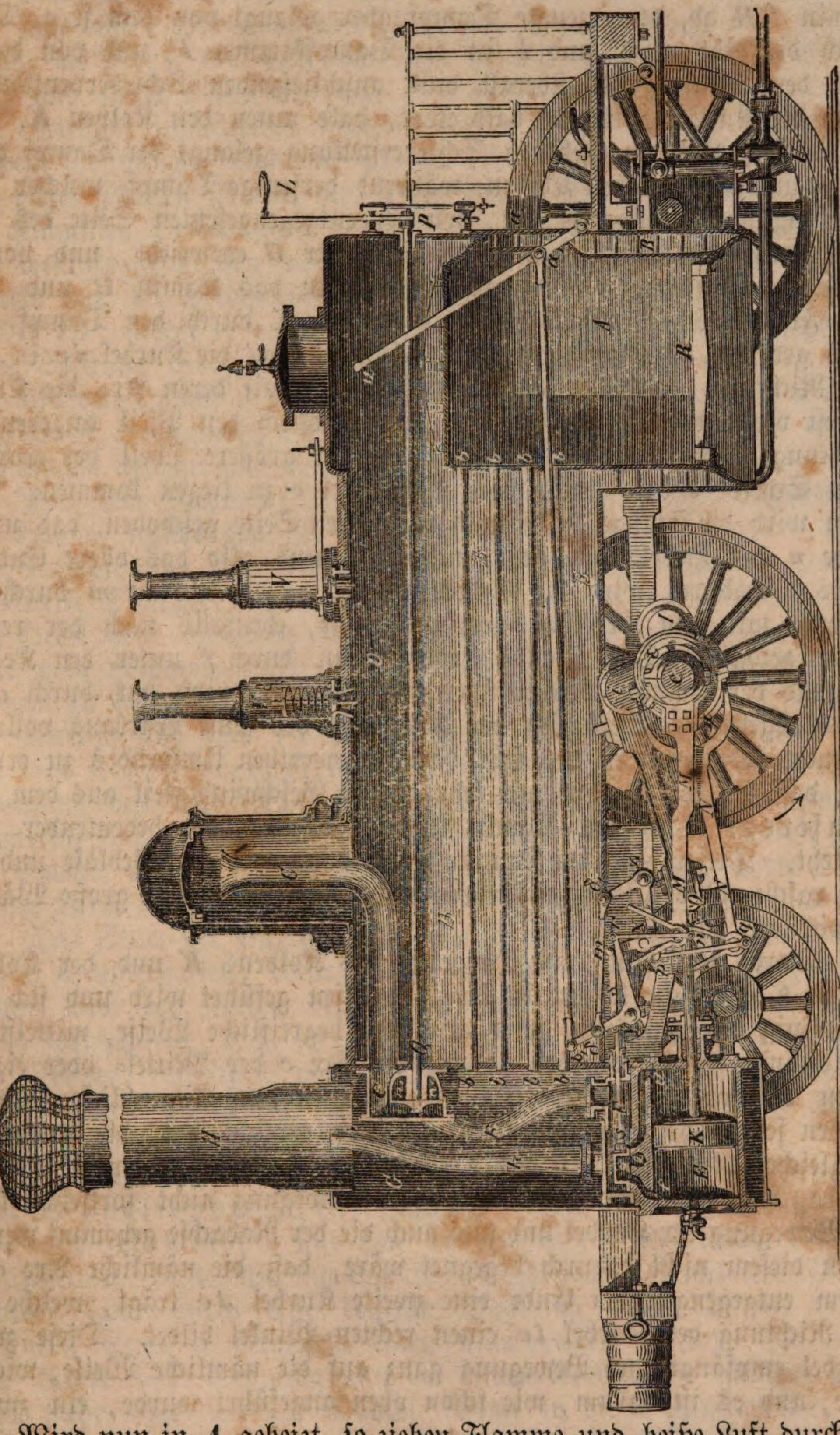


Fig. 250.

Wird nun in *A* geheizt, so ziehen Flamme und heiße Luft durch die oben genannten Heizröhren und verwandeln das Wasser in Dampf. Der Rauch und die beim Verbrennen entwickelten Gase gehen durch das

Kamin *GH* ab, der erzeugte Dampf aber gelangt von dem s. g. Dome durch die Röhren *C* und *k* in die Dampfkammer *F*, und von da, je nach der Stellung des überall dicht anschließenden Schieberventiles *g*, durch die Kanäle *f* und *d* bald über, bald unter den Kolben *K*. Bei der in Fig. 250 angegebenen Schieberstellung gelangt der Dampf durch den Kanal *d* über den Kolben, während derjenige Dampf, welcher seine Wirkung schon vollbracht hat, von der entgegengesetzten Seite des Kolbens durch den Kanal *f* unter den Schieber *G* entweicht, und von da durch die Oeffnung *e* und das Rohr *h* in das Kamin *H* und dann in's Freie strömt. Wird aber der Kolben *K* durch den Dampf nach links gedrückt, so wird durch das Gestänge *Koi* die Kurbel *ic* in gleicher Richtung bewegt, und die Mittelräder, mit deren Axe die Kurbel *ic* fest verbunden ist, drehen sich in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung. Bei dieser Bewegung wird der größere Theil der excentrischen Scheibe *ε* bald links vom Radmittel *c* zu liegen kommen. Alsdann wird die Stange *M**) nach der linken Seite geschoben, das untere Ende *n* des Hebels *mn* geht auch links und also das obere Ende *m* rechts. Dadurch wird die Schieberstange *ss*, welche in *m* durch ein Gelenke mit dem Hebel *mn* verbunden ist, ebenfalls nach der rechten Seite gezogen. Der Dampf strömt dann durch *f* unter den Kolben, während der Dampf, welcher über dem Kolben gewirkt hat, durch *d*, *e*, *h*, *H* abgeht. — Bezüglich der Ableitung des seine Wirkung vollendet habenden Dampfes ist des sehr bemerkenswerthen Umstandes zu erwähnen, daß, da der Dampf mit sehr großer Geschwindigkeit aus dem s. g. Blaserohr *h* in das Kamin strömt, dadurch ein bedeutender Zug entsteht. Dieser Zug im Kamine wirkt dann wie ein Gebläse und hat eine rasche und vollständige Verbrennung, darum auch eine große Wärmeentwicklung zur Folge.

Durch das Hin- und Hergehen des Kolbens *K* und der Kolbenstange *Ko*, welche letztere in s. g. Coulissen geführt wird und sich nur geradlinig bewegen kann, wird also, auf begreifliche Weise, mittelst der Treibstange *oi* die Kurbel *ic* um die Axe *c* der Mittel- oder eigentlichen Triebräder gedreht. Da nun aber in dem Augenblicke, als der Kolben seinen höchsten und tiefsten Stand erreicht hat, die Kurbel *ic* in gleicher Richtung mit der Treibstange *oi*, also horizontal liegt, so würde, weil hier ein Schwungrad die Bewegung nicht fortsetzen kann, die Bewegung der Kurbel und also auch die der Radachse gehemmt werden, wenn diesem nicht dadurch begegnet wäre, daß die nämliche Axe *c* an ihrem entgegengesetzten Ende eine zweite Kurbel *Jc* trägt, welche mit der Richtung der Kurbel *ic* einen rechten Winkel bildet. Diese zweite Kurbel empfängt ihre Bewegung ganz auf die nämliche Weise, wie die erste, und es ist darum, wie schon oben angeführt wurde, ein zweiter

*) Die Stange *NN* mit der Gabel *q* und der excentrischen Scheibe *π* kommen jetzt noch gar nicht in Betracht.

vom Locomotivführer bewirkt wird, d. h. wie dieser bald eine schnellere oder langsamere Bewegung bewerkstelligt. Dies geschieht auf folgende Weise: die Röhre *CC* steht mit dem hohlen Raume *n′n′* in Verbindung und führt diesem den aus dem Kessel strömenden Dampf durch zwei vertikale, unmittelbar hinter einander befindliche und mit entsprechenden Oeffnungen versehene Platten (siehe links von *n′n′*) zu. Die eine dieser Platten ist fest, die andere aber läßt sich so verschieben, daß die genannten Oeffnungen, durch welche der Dampf einströmt, mehr oder weniger geschlossen werden. Dies Verstellen der beweglichen Platte bewirkt nun der Locomotivführer vermittelst der Stange *PQ* und der Kurbel *LP*, indem er durch einfache Drehung der Platte entweder eine solche Stellung gibt, daß die Oeffnungen gerade auf einander fallen und also den Dampf vollständig zutreten lassen; oder aber, bei nöthiger langsamern Bewegung, verschiebt er die bewegliche Platte so, daß die Oeffnungen verengt und der Dampfzufluß vermindert werden.

Von dem Locomotivführer werden auch von seinem Standpunkte aus Hähne, welche das im Dampfcylinder verdichtete, sowie das von dem Dampfe aus dem Kessel mechanisch mitgerissene Wasser ablassen, vermittelst Stangen regiert. Ebenso kann der in der Zeichnung über dem Hebel *uv* befindliche Hahn, welcher zugleich als Signalpfeife dient, vom Locomotivführer geöffnet werden, um den Dampf in's Freie strömen zu lassen.

Endlich sind noch *VV* die bekannten Sicherheitsventile, und zwar sind dies s. g. Federventile, da Gewichtsventile, wegen der durch die Bewegung des Locomotivs erfolgenden Einwirkung auf die Gewichte unzuläßig sind. *U* ist der ebenfalls vom Locomotivführer regierte Hahn der Pumpe, mittelst welcher das im s. g. Tender nachgeführte Speisewasser durch die Dampfmaschine selbst dem Dampfkessel zugeführt wird.

Das Spiel der Pumpe selbst wird durch die Bewegung der Dampfkolben *K* unterhalten, derart, daß bei jedem Hin- und Hergang der letztern auch der Kolben der Speisepumpe einen Doppelhub vollendet, wobei fortwährend, d. h. so lange Dampf verbraucht wird, Wasser aus dem Tender eingesogen wird. Der Zweck des über dem Dampfrohr *C* befindlichen Hutes ist, zu verhindern, daß von dem beim Sieden emporgeschleuderten Wasser etwas in die Maschine gelangt.

11) Endlich sei noch durch Fig. 251 und 252 eine Darstellung einer Expansionsmaschine gegeben. — Es tritt der Dampf zuerst in eine Vorkammer *b* und von da erst in die eigentliche Dampfkammer *c*. Die Verbindung der Vorkammer *b* mit der Dampfkammer kann durch eine konische Oeffnung und den in dieselbe passenden Kegel *b* hergestellt oder unterbrochen werden. Je länger oder kürzer diese Oeffnung nun bei einem Kolbenhube geöffnet bleibt, desto mehr oder weniger Dampf strömt in die Dampfkammer, also auch in den Cylinder *C* ein. Dies Oeffnen und Schließen der besagten Oeffnung geschieht durch ein horizontales Hin- und Her-

schieben des Kegels *b* vermittelst der Stangen *bd*, *df* und *gh*, von welchen die beiden letztern durch einen Ring *fg* mit einander verbunden sind. An der Stange *gh* ist nämlich eine Spiralfeder befestigt, welche in einer Büchse *A* eingeschlossen ist; ferner befindet sich an einer vertikalen Spindel *ii* ein Cylinder *l*, welcher auf seiner krummen Ober-

Fig. 251.

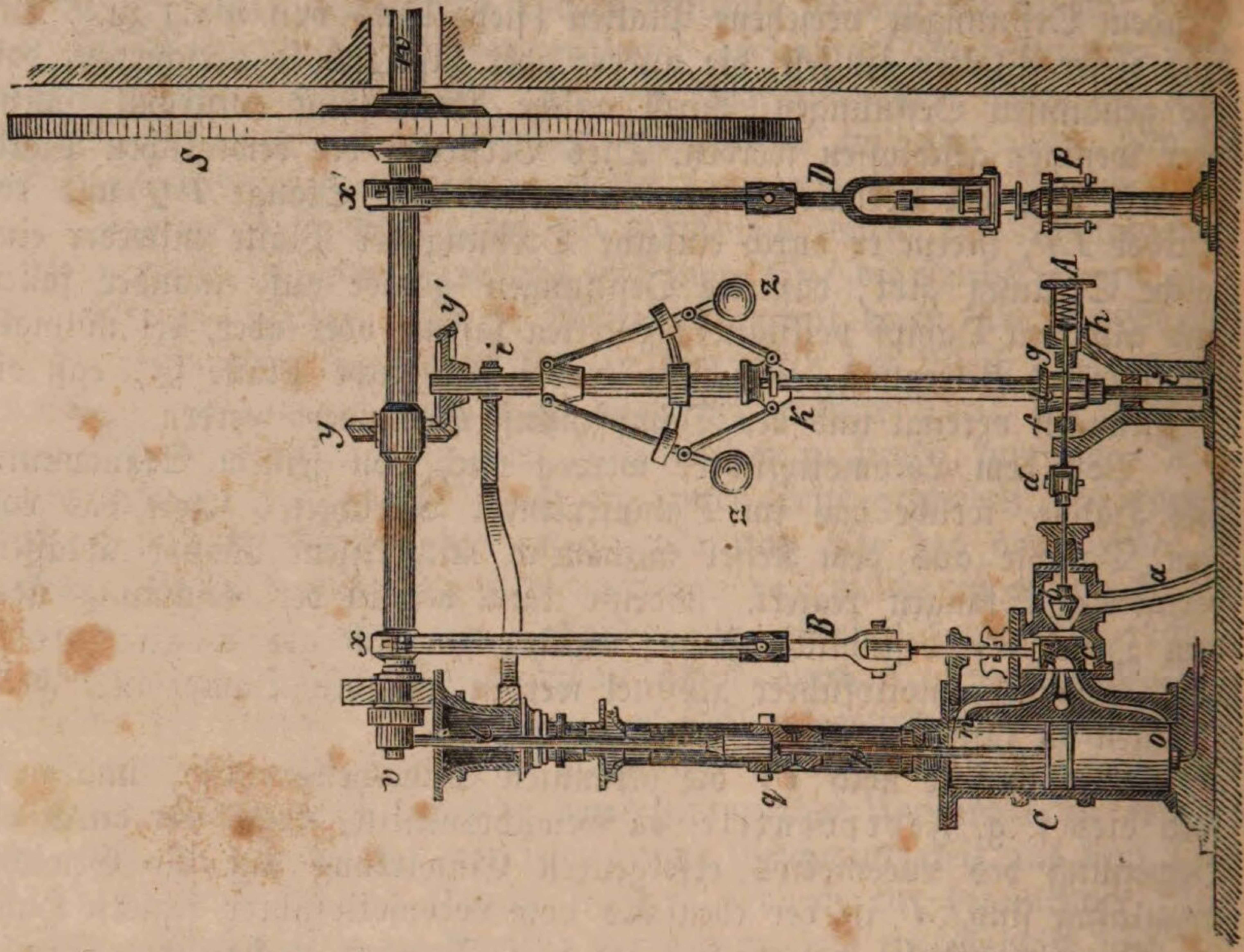
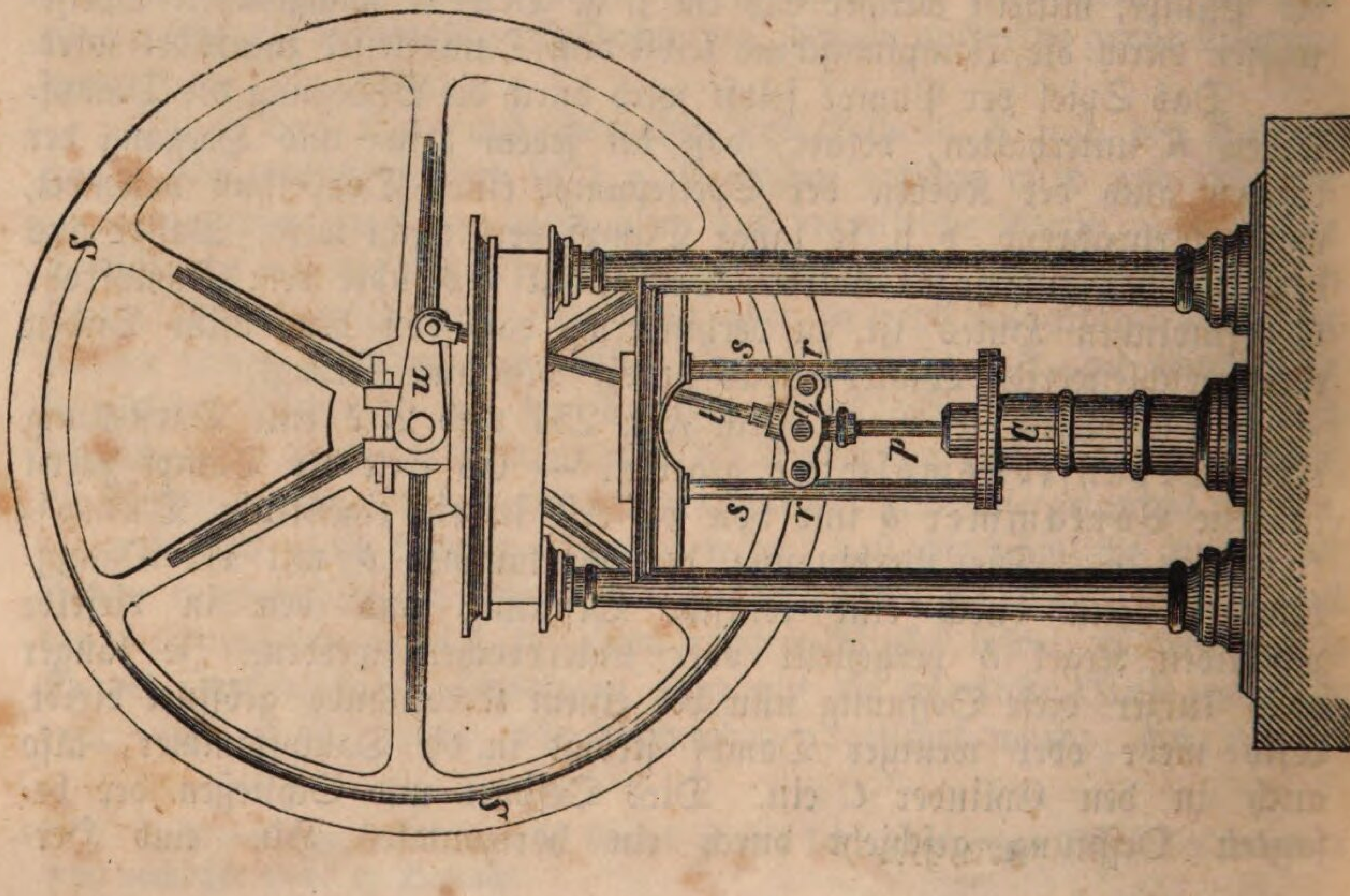


Fig. 252.



fläche der Länge nach zwei schraubenartig gewundene, sich gegen unten verjüngende Warzen oder Daumen trägt. Wenn nun bei Umdrehung der Spindel *ii* einer dieser Daumen an das Ende der Stange *gh* drückt, so wird diese zurückgeschoben, also auch der Ring *fg* und mit diesem die Stangen *bd* und *df* sammt dem Kegel *b*. Der Dampf kann nun ungehindert in die Kammer *c* treten. Sobald aber die Warze an *g* vorüber ist, wird die in *A* zusammengepreßte Feder die Stange *gh*, also auch *f*, *d* und *b* vorwärts schieben, und es ist alsdann der Eintritt des Dampfes in die Kammer *c* gehemmt. Der im Cylinder *C* abgesperrte Dampf muß nun durch seine Expansion wirken.

Von der Dampfkammer gelangt, wie bei der vorigen Maschine, bei einer hin- und hergehenden Bewegung des Steuerungsschiebers *m* der Dampf durch die Kanäle *n* und *o* bald über, bald unter den Kolben des Dampfcylinders.

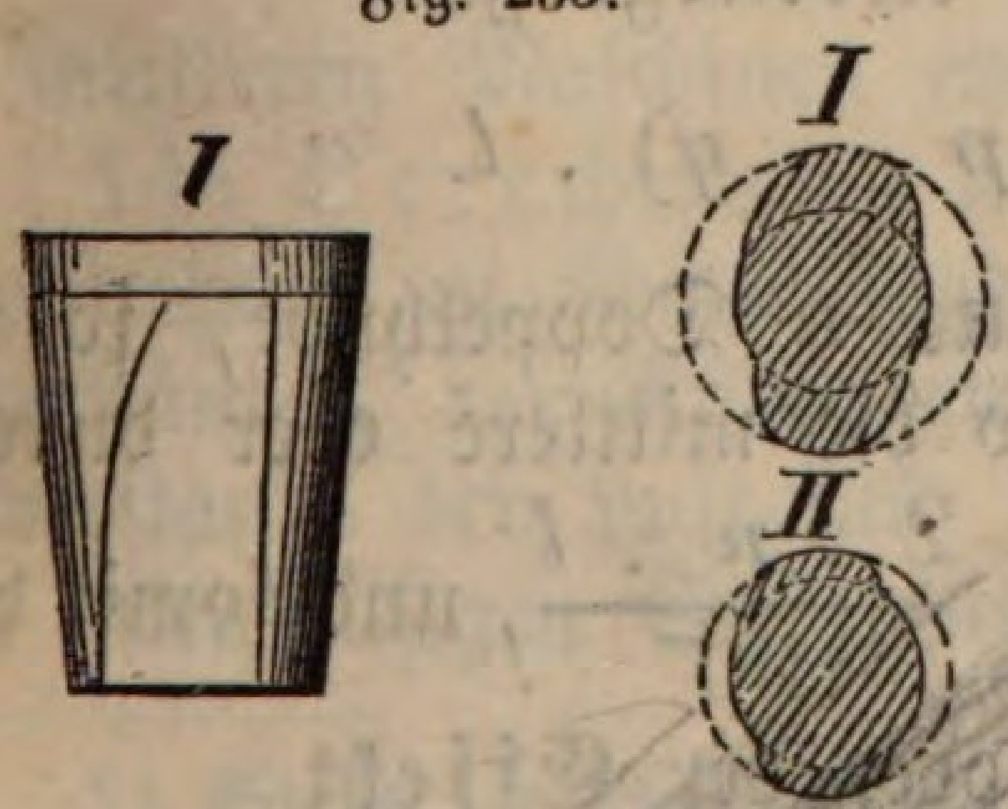
Um eine vertikale Bewegung der Kolbenstange *p* zu bewirken, ist hier das obere Ende derselben in einer Traverse *q* befestigt, welche an ihren Enden s. g. Kehlrollen *r*, *r* trägt, die längs der Leitstangen *s*, *s* sich hinbewegen, wie man aus der Vorderansicht Fig. 252 ersieht.

Oben mit der Traverse *q* ist durch ein Gelenke die Kurbelstange *t* verbunden, vermittelst welcher die Kurbel *u* und die Welle *vw* in Umdrehung gesetzt werden. An der Welle *vw* sind zwei excentrische Scheiben *x* und *x'* angebracht; erstere dient zur Bewegung des Steuerungsschiebers, letztere aber zum Betriebe der Speisepumpe *P*. Beide Scheiben sind wieder mit losen Halsbändern umgeben, von deren Vorder- und Rückseite je Stangen gehen, welche unten mit den Schieber- und Pumpenstangen *B* und *D* verbunden sind.

Endlich trägt diese Welle außer dem Schwungrade *S* noch ein Winkelrad *y*, welches in ein anderes auf der Welle *ii* festsitzendes Rad *y'*, das ebensoviele Zähne wie *y* hat, eingreift, um den Regulator *zz* in Bewegung zu setzen.

Die Wirkung dieses Regulators ist die, daß bei einer schnellen Umdrehung der Axen *vw* und *ii* die Kugeln *zz* aus einander fliegen und den Körper *l*, welcher mit dem Regulator durch Stangen an der beweglichen Hülse *k* verbunden und auf *ii* verschiebbar ist, in die Höhe ziehen. Da die schon angeführten, an *l* angebrachten Daumen nach unten verjüngt auslaufen, wie der oberste und unterste Querschnitt *I* und *II* des Körpers *l* in Fig. 253 deutlich zeigen, so wird also auch beim Heraufziehen von *l* die in *A* eingeschlossene Feder eher rückwirken, und die Dampfabsperrung früher eintreten können. Umgekehrt werden bei zu langsamer Bewegung der Achsen *vw* und *ii* die Kugeln und also auch *l* sich senken; alsdann kommen die höheren Theile der Daumen mit dem

Fig. 253.



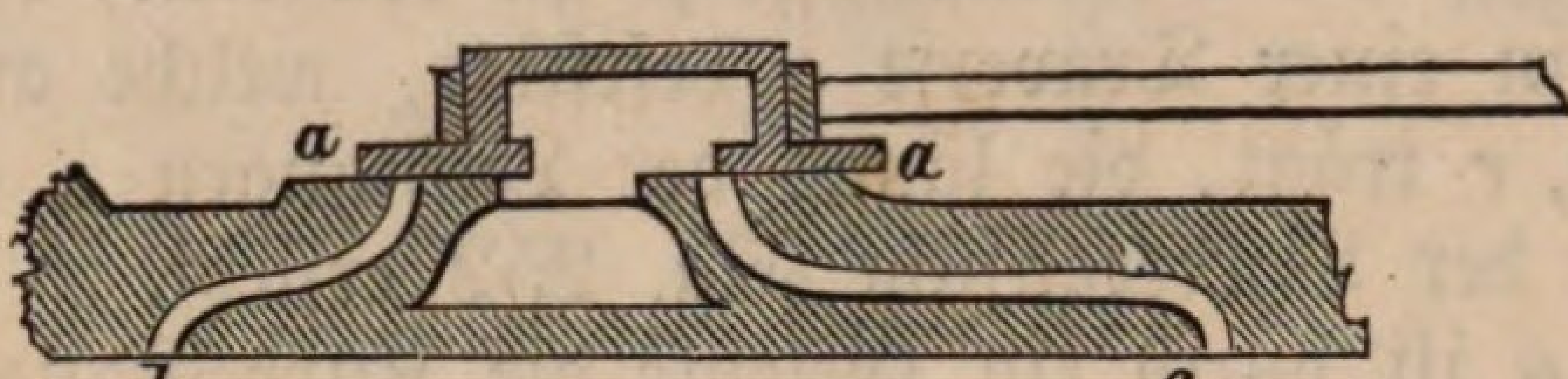
diese umgebenden Ringe fg Fig. 252 in Berührung, und die Feder bleibt länger zusammengepreßt, folglich der Dampfzufluß gestattet.

Da die Spindel ii und die Axe vw in der nämlichen Zeit gleichviel Umdrehungen machen, so wird mittelst der zwei Daumen an l auf je eine Umdrehung zweimal, also, wie nothwendig, auf einen einfachen Kolbenhub einmal frischer Dampf in den Cylinder C gelassen.

Eine bei dieser Maschine angebrachte Verbesserung besteht darin, daß die Eintrittsöffnung für den Dampf, statt gegen die Basis des Konus b, ringförmig gegen dessen Mantel gerichtet ist. Dadurch wird der Widerstand gegen das Zurückziehen des Kegels, den der gegen die Basis strömende Dampf ausübt, beseitigt.

Die Absperrung des Dampfes geschieht bei manchen Expansionsmaschinen auch durch einen Muschelschieber Fig. 254, der sich von einem gewöhnlichen Vertheilungsschieber nur dadurch unterscheidet, daß er auf beiden Seiten mit breiten Rändern aa versehen ist, welche bewirken, daß während der Bewegung des Schiebers die Dampfzuleitungskanäle b und c eine Zeit lang geschlossen bleiben.

Fig. 254.



12) Berechnung der Wirkungsfähigkeit der Dampfmaschinen.

a) Berechnung der Maschinen ohne Expansion. Ist d der Durchmesser des Dampfkolbens, $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ also dessen Querschnitt oder Grundfläche, und ist der Druck des Dampfes auf die Flächeneinheit (1 □′ oder 1 □Meter) $= p$, so ist der von dem Dampf auf den Kolben ausgeübte Druck $= \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot p$.

Ist ferner q der Gegendruck auf die gleiche Flächeneinheit, so ist die eigentliche bewegende, am Kolben wirksame Kraft

$$P = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} (p - q).$$

Multiplizirt man nun diesen Druck mit der Länge l eines Hubes, so erhält man die bei einem Hube verrichtete Arbeitsgröße

$$P \cdot s = P \cdot l = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot (p - q) \cdot l.$$

Macht aber der Kolben in einer Minute n Doppelhübe, so ist sein Weg in der Minute $= 2 \cdot n \cdot l$, also die mittlere oder durchschnittliche Geschwindigkeit per Sekunde $v = \frac{2 \cdot n \cdot l}{60}$, und somit die in der Sekunde verrichtete theoretische Arbeit oder der Effekt

$$P \cdot v = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} (p - q) \frac{2 \cdot n \cdot l}{60}.$$

Setzt man die Kolbenfläche $\frac{d^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi = F$, so hat man für die Effektberechnung auch die Formel

$$P\, v = F\, (p - q) \frac{2 \cdot n \cdot l}{60}.$$

Der Gegendruck beträgt nach Seite 185 bei Condensationsmaschinen 0,1 Atmosphären und bei Maschinen ohne Condensation 1 bis 1¼ Atmosphären.

b) Berechnung der Expansionsmaschine. Bei Maschinen mit Expansion berechne man zuerst die Arbeit, die vor der Absperrung des Dampfes verrichtet wird. Es ist diese Rechnung ganz die nämliche, wie die eben erklärte, da der Dampf während dieser Zeit immer mit gleichem Druck arbeitet. Alsdann berechne man die während der Absperrung bei der Ausdehnung des Dampfes nacheinander stattfindenden Drücke und bestimme daraus den mittlern Druck. Zieht man von diesem den Gegendruck ab und multiplizirt dann die übrig gebliebene eigentliche bewegende Kraft mit dem Weg, den der Kolben während der Absperrung zurücklegt, so ergiebt sich die während der Absperrung, d. i. auf dem Reste des Hubes vom Dampf verrichtete Arbeit.

Addirt man beide Arbeitsgrößen, so ergibt sich die während eines Hubes verrichtete Arbeit.

Multiplizirt man diese Arbeitsgröße mit der Anzahl der per Minute gemachten einfachen Hübe und theilt mit 60, so erhält man wieder die Arbeit der Maschine per Sekunde.

13) Wirkungsgrad. Wegen der vielerlei Reibungswiderstände und da der Dampf bei seinem Durchfluß und Uebergehen in den Cylinder auch eine theilweise Abkühlung und damit eine Schwächung seiner Spannung erleidet, ist der wirkliche oder Nutzeffekt einer Dampfmaschine natürlich immer geringer, als obige theoretische Formel angibt.

Bei Maschinen ohne Expansion beträgt der Nutzeffekt oder der sogen. Wirkungsgrad nur . . . . $0{,}5 - 0{,}7\ P \cdot v$, und zwar gilt der größere Coefficient nur für ganz große Maschinen.

Bei Expansionsmaschinen ist der nutzbare Effekt nur $0{,}4 - 0{,}7\ P \cdot v$; bei mittleren Maschinen etwa . . . . $\frac{1}{2} P \cdot v$*).

14) Berechnung der Locomotive. Der Widerstand, der auf Eisenbahnen zu überwinden ist, besteht aus den verschiedenen Reibungswiderständen der Räder an den Schienen, Axen 2c., sodann aus dem Widerstande der Luft und manchmal noch aus dem Widerstande, der aus allenfallsigen Steigungen erwächst.

*) Siehe die Bestimmung des Nutzeffektes am Schlusse dieses Abschnitts.

Da der Reibungs-, sowie der Luftwiderstand — d. h. letzterer bei normalen Verhältnissen — im Allgemeinen von der Größe der Wagen und ihrer Anzahl, beziehungsweise von dem Gewichte des Zuges abhängen, so hat man vielfach beobachtet, welcher Widerstand auf ein gewisses Gewicht des Zuges oder Trains zu rechnen ist.

So fand man, daß für den Reibungs- und Luftwiderstand für je 1 Tonne, d. i. 1000 *Kg.* des gesammten Traingewichts (mit Locomotive) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 bis 18 Meter als Bewegungswiderstand gerechnet werden muß:

Für ein Traingewicht von	50 Tonnen	8—13 *Kg.*,
" " " "	100—150 "	7—10 "
" " " "	200 "	6— 9½ "

Der Steigungswiderstand ist natürlich nach Seite 86 zu berechnen und beträgt $\frac{h}{l} Q$, wenn Q das gesammte Traingewicht ist.

Für ein Traingewicht von 100 Tonnen wäre darum der Reibungs- und Luftwiderstand im Mittel = 8 . 100 *Kg.* und sammt dem Steigungswiderstand der gesammte Bewegungswiderstand

$$W = 8 \,.\, 100 + \frac{h}{l} \,.\, 100 \,.\, 1000 \; Kg.$$

Ist V die Fahrgeschwindigkeit, so wäre also die von der Dampfmaschine zu verrichtende nutzbare Arbeit, wenn der Nutzeffekt der Maschine zu 0,7 angenommen wird,

$$0{,}7 \, P \,.\, v = W \,.\, V = (8 \,.\, 100 + \frac{h}{l} \, 100000) \; V \; Km.$$

Damit der Zug aber auch sich wirklich vorwärts bewegt und die Räder sich nicht bloß drehen und dabei auf der Bahn gleiten, ist nöthig, daß die Reibung der großen oder Triebräder so groß oder noch wenig größer ist, als obiger Widerstand W.

Die Reibung der Triebräder ist aber $= f \,.\, Q_0$, wenn Q_0 den Druck dieser Räder auf die Bahn bezeichnet.

Der Reibungscoefficient f ist für trockene Schienen = ⅓, für feuchte = ⅙ und für nasse = $^1/_{10}$.

Vermehrte Reibung bei Berglocomotiven (Sömmeringbahn) durch Kuppelung der Räder. Achträderige, schwere Berglocomotive. — Größte Steigungen s. oben S. 187 unten. Kleinste Krümmungshalbmesser: 100 öster. Klafter auf der Sömmeringbahn, 764′ auf der württ. Bahn bei Geißlingen. — Allgemeine Spurweite = 1,435 Meter.

Aufgaben.

1ste Aufgabe. Wie groß ist die Leistung einer Niederdruckmaschine, deren Kolbendurchmesser 0,66 Meter und deren Hubhöhe 1,4 Meter beträgt, wenn die Maschine Dampf von $1^1/_5$ Atmosphären braucht und in der Minute 24 Doppelhübe macht?

Auflösung. Nach S. 195 ist die sekundliche Arbeit

$$P \,.\, v = F \,.\, (p - q) \,.\, \frac{2 \,.\, n \,.\, l}{60}.$$

Es ist nun $F = r^2 . \pi = 0{,}33^2 . 3{,}14 = 0{,}341946$ □Meter, und der Dampfdruck p auf 1 □Meter $= 1{,}2 . 10336$ *Kg.* Bei einer Maschine mit Condensation, wie fragliche sein muß, ist aber der Gegendruck auf 1 □Meter der Kolbenfläche $q = 0{,}1 . 10336$ *Kg.*; folglich

$$p - q = 1{,}1 . 10336 \; Kg.,$$

und daher

$$P . v = \frac{0{,}341946 . 1{,}1 . 10336 . 2 . 24 . 1{,}4}{60} = 4354 \; Km;$$

oder

$$P . v = \frac{4354}{75} = 58 \text{ Pferdekräfte.}$$

Für eine Niederdruckmaschine von solcher Stärke ist nach S. 195 der Nutzeffekt im Mittel $= 0{,}6 . Pv$; folglich beträgt die nutzbare Arbeit, welche durch die Schwungradwelle fortgepflanzt werden kann,

$$Pv = 0{,}6 . 4354 = 4612 \; Km. = 34{,}8 \text{ Pferdekräfte.}$$

Das per Sekunde verbrauchte Dampfquantum ist

$$= v . F = \frac{2 . n . l}{60} . F = \frac{2 . 24 . 1{,}4}{60} \, 0{,}341946 = 0{,}38304$$

Cubikmeter.

Nun ist die Dichtigkeit des Dampfes von $1^1/_5$ Atmosphären 1470mal geringer, als die des Wassers; es wiegt also 1 Cubikmeter Dampf von 1,2 Atmosphären $\frac{1000}{1470}$ *Kg.*; folglich ist das Gewicht von 0,38304 Cubikmeter $=$ $\frac{0{,}38304 . 1000}{1470} = 0{,}2606$ *Kg.*

Hat das Speisewasser, wenn es in den Kessel tritt, eine Temperatur von 30° C., so erfordert die Verdampfung von 0,2606 *Kg.* Wasser nach S. 174 eine Wärmemenge

$$= (650 - 30) \, 0{,}2606 = 161{,}57 \text{ Calorien.}$$

Da nun 1 *Kg.* Steinkohlen ungefähr 4000 nutzbare Wärmeeinheiten abgeben kann, so sind also per Stunde $\frac{60 . 60 . 161{,}57}{4000} = 145{,}4$ *Kg.*, und folglich für jede Pferdekraft in einer Stunde $\frac{145{,}4}{58} = 2{,}5$ *Kg.* Steinkohlen erforderlich.

2te **Aufgabe.** Welche Leistung gibt eine Hochdruckmaschine mit Expansion und ohne Condensation, deren Triebkolben einen Durchmesser von 1 Fuß bad. hat und per Minute 40 Doppelhübe von 2,4′ Länge macht, wenn die Dampfspannung 6 Atmosphären beträgt und wenn die Absperrung nach $^1/_3$ des Kolbenhubes eintritt?

Auflösung. Es ist hier $\frac{d^2 . \pi}{4} = \frac{1 . 3{,}1416}{4} = 0{,}7854$ □′, $p = 6 . 1860$ Pfd., $q = {}^5/_4 . 1860$ Pfd., also der Druck, durch den der Kolben vor der Absperrung bewegt wird,

$$P = 0{,}7854 . 4^3/_4 . 1860 = 6940 \text{ Pfd.}$$

Dieser Druck ist auf $^1/_3$ des Hubes, also auf einem Wege $= \frac{2{,}4}{3} = 0{,}8'$ wirksam, somit die vor der Absperrung verrichtete Arbeit $= 6940 . 0{,}8 =$ $= 5552$ Fpfd.

Die während der Absperrung eintretenden Drücke des Dampfes, ohne Abzug des Gegendruckes, sind nun folgende:

Am Anfange der Absperrung ist der Druck

$$= \frac{d^2 . \pi}{4} . p = 0{,}7854 . 6 . 1860 = 8765 \text{ Pfd.};$$

wenn der Dampf den $1\frac{1}{2}$fachen Raum einnimmt, ist der Druck $= \frac{2}{3} . 8765$
$= 5843$ Pfd.;
" " " " 2 " " " " " $= \frac{1}{2} . 8765$
$= 4382$ Pfd.;
" " " " $2\frac{1}{2}$ " " " " " " $= \frac{2}{5} . 8765$
$= 3506$ Pfd.;
" " " " 3 " " " " " " $= \frac{1}{3} . 8765$
$= 2922$ Pfd.

Somit ist der durchschnittliche Druck während der Absperrung

$$= \frac{8765 + 5843 + 4382 + 3506 + 2922}{5} = 5083 \text{ Pfd.}$$

Der Gegendruck auf den Kolben beträgt $\frac{5}{4} . 1860 . 0,7854 = 1826$ Pfd.

Somit ist die den Kolben bewegende mittlere Kraft während der Absperrung $= 5083 - 1826 = 3257$ Pfd., und da solche auf einem Wege $=$ $= \frac{2}{3} . 2,4 = 1,6'$ wirksam ist, so ist die während der Absperrung verrichtete Arbeit $= 3257 . 1,6 = 5211$ Fpfd.

Die Arbeit während eines Hubes ist darum

$$= 5552 + 5211 = 10763 \text{ Fpfd.};$$

folglich die sekundliche Arbeit

$$= \frac{10763 . 80}{60} = 14350 \text{ Fpfd.}$$

und der Nutzeffekt $= \frac{14350}{2} = 7175$ Fpfd. $= 14,3$ Pferdekräfte.

3te Aufgabe. Es sei das Gewicht eines ganzen Eisenbahnzuges $= 120$ Tonnen*) und es habe die Bahn eine Steigung von $\frac{1}{2}\%$, wie groß ist der gesammte Bewegungswiderstand, welchen Totaleffekt muß die Locomotive bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 Meter ausüben, und wie groß muß der Druck der Triebräder auf die Bahn sein?

Auflösung. Für das Aufwärtsfahren ist nach Seite 196

$$W = 8 . 120 + \frac{1}{200} . 120 . 1000,$$

$$\text{d. i. } W = 960 + 600 = 1560 \; Kg.$$

Die zu verrichtende Arbeit wäre dann, da $V = 10$ Meter ist,

$$W . V = 0,7 \; Pv = 1560 . 10 = 15600 \; Km.,$$

und darum der erforderliche Totaleffekt der Locomotive

$$Pv = \frac{10 . 15600}{7} = 22285 \; Km.;$$

also der Effekt einer der beiden Dampfmaschinen

$$= 11142 \; Km. = 148,5 \text{ Pferdekräfte.}$$

Nimmt man für etwas feuchte Schienen den Reibungscoefficienten zu $\frac{1}{6}$ an, so muß, da $\frac{1}{6}Q_0 = W$, der Druck der Triebräder $Q_0 = 6 . 1560 =$ $= 9360 = 9\frac{1}{3}$ Tonnen sein, welchen man noch um $\frac{1}{10}$ höher, also zu etwa 10 Tonnen annehmen muß.

Beim Abwärtsfahren wäre der zu überwindende Widerstand $W = 960 - 600 =$ $= 360 \; Kg.$ und also die bei der nämlichen Fahrgeschwindigkeit zu verrichtende Arbeit $W . V = 360 . 10 = 3600 \; Km.$ und es hätte darum jede Dampfmaschine einen Totaleffekt zu verrichten, der $= \frac{10 . 3600}{7 . 2} = 2571 \; Km. = 34,3$ Pferdekräfte betrüge.

---

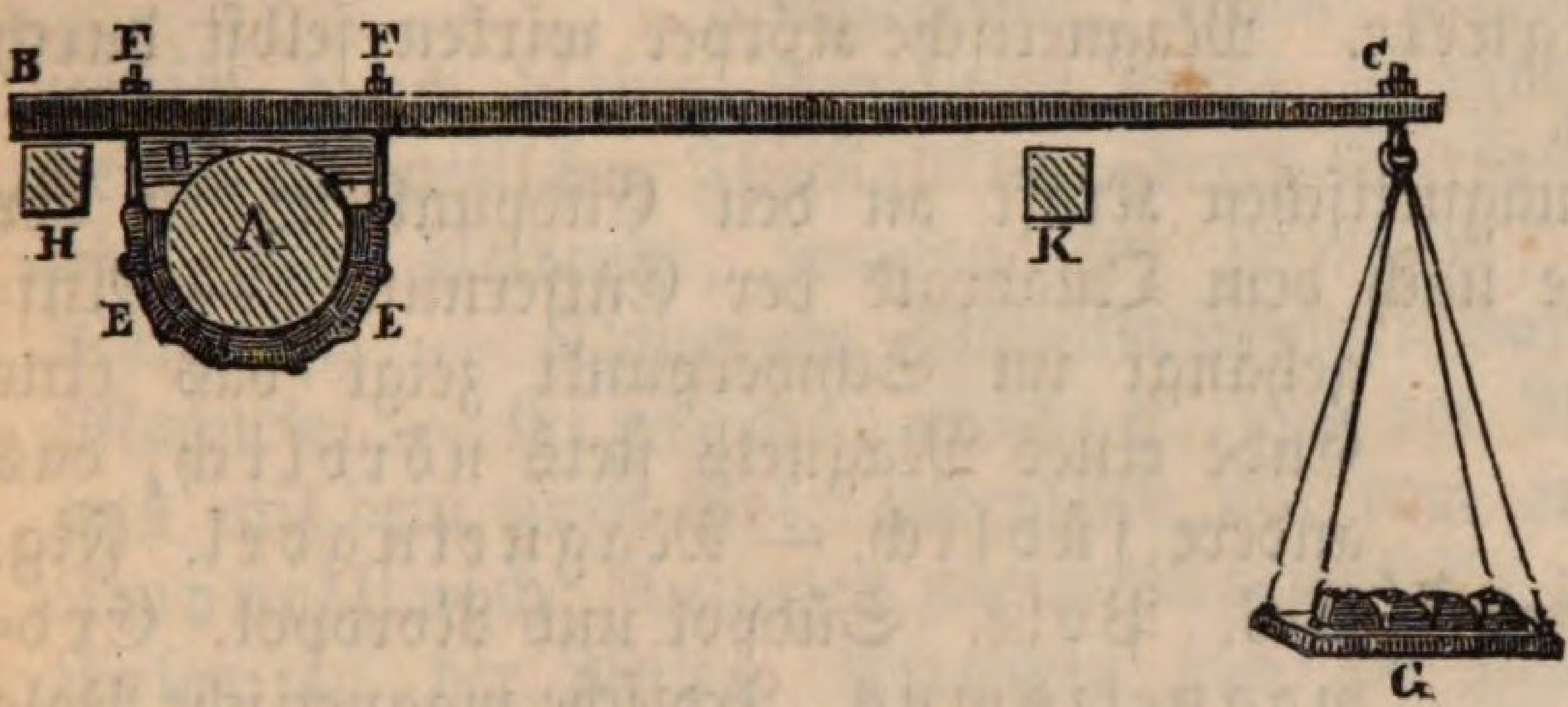
*) Das gewöhnliche Gewicht einer Locomotive ist 9 — 20 Tonnen. Berglocomotive auf der Sömmeringbahn von 56 Tonnen. Ein Waggon wiegt gewöhnlich 7 Tonnen.

Von der Messung des Nutzeffektes einer Maschine durch das Bremsdynamometer.

Man hat ein leichtes Mittel, um die durch einen Wellbaum oder überhaupt durch die drehende Bewegung einer Maschine übertragene Kraft oder die verrichtete Arbeit zu bestimmen.

Zu diesem Zwecke bedient man sich des sogen. Bremsdynamometers oder des Prony'schen Zaums, Fig. 255. Dasselbe besteht aus einem Sattel D und mehreren an dem Wellbaume anliegenden Holzstücken, die durch die Kette EE und Schrauben FF so angedrückt werden können, daß zwischen der Welle und der Bremse eine starke Reibung entsteht.

Fig. 255.



Beschwert man nun die Wagschale in G so, daß während sich die Welle in der Bremse noch dreht, der damit verbundene Wagbalken eine freie horizontale Lage annimmt, so ist sowohl die am Umfange der Welle wirkende Kraft, als auch die übertragene Arbeit gemessen. Denn es ist alsdann die stattfindende Reibungsgröße gerade so groß, als die Kraft, welche der Wellbaum ohne diese künstlich hervorgerufene Reibung, bei gleicher Umdrehungszahl, übertragen könnte.

Ist aber G das Gewicht in der Wagschale, R die Reibungsgröße, der Hebelarm $AC = L$ und der Hebelarm der Reibung, d. i. der Halbmesser der Welle $= r$, so hat man für die horizontale Lage des Hebels
$$R \cdot r = G \cdot L,$$
und also $R = \frac{G \cdot L}{r} =$ der zu übertragenden Kraft P.

Macht der Wellbaum per Minute u Umdrehungen, so ist die sekundliche Geschwindigkeit am Umfange der Welle $v = \frac{2 \cdot r \cdot \pi \cdot u}{60}$, und darum die durch die Reibung verzehrte, also die ohne diese zu verrichtende Arbeit

$$R \cdot v = P \cdot v = \frac{G \cdot L}{r} \cdot \frac{2 \cdot r \cdot \pi \cdot u}{60} = \frac{2 \cdot L \cdot \pi \cdot u}{60} \cdot G.$$

Beispiel. Es sei $L = 10'$ und für eine Umdrehungszahl $u = 15$, $G =$ $= 300$ Pfd., so erhält man als Leistungsfähigkeit der Maschine

$$P \cdot v = \frac{2 \cdot 10 \cdot 3{,}14 \cdot 15}{60} \cdot 300 = 4710 \text{ Fußpfd.}$$

Man finde beim Anziehen der Sättel, also bei einer vermehrten Reibung, $G = 360$ Pfd. und $u = 12$, so wäre alsdann

$$P \cdot v = \frac{2 \cdot 10 \cdot 3{,}14 \cdot 12}{60} \cdot 360 = 4521 \text{ Fußpfd.}$$

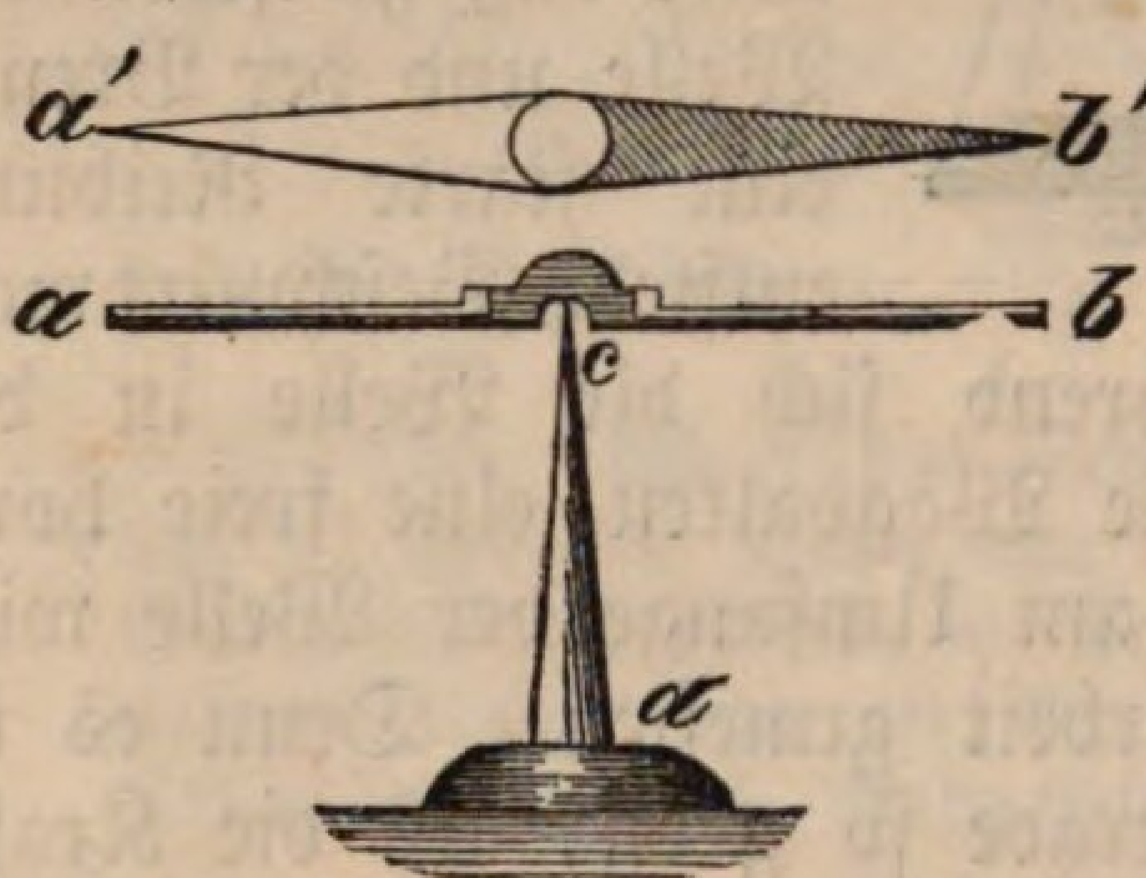
Somit wäre die erstere Umdrehungszahl eine günstigere, da bei derselben die Maschine den größten Nutzeffekt verrichtet.

XV. Vom Magnetismus.

1) Es gibt Eisenerze, welche Eisen, Nickel, Kobalt ꝛc. anziehen. Man nennt solche Magnete. Magnetische Körper wirken selbst durch andere Körper hindurch.

Sammlung der magnetischen Kraft an den Endpunkten; in der Mitte = 0. Abnahme nach dem Quadrate der Entfernung. — Aufgehängt im Schwerpunkt zeigt das eine Ende eines Magnets stets nördlich, das andere südlich. — Magnetnadel. Fig. 256. Pole. Südpol und Nordpol. Erdmagnetismus. Irdische magnetische Pole nicht genau die geographischen. — Auch Stücke eines Magnets und jedes angezogene Eisentheilchen zeigen Polarität.

Fig. 256.



Anziehen der ungleichnamigen und Abstoßen der gleichnamigen Pole zweier Magnete (magnetische Spielereien, Schiffchen ꝛc.).

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt man an, in dem Eisen seien zwei verschiedene, unwägbare sogen. magnetische Flüssigkeiten (Fluida), ein Nordpolmagnetismus und ein Südpolmagnetismus, vorhanden, deren Theilchen sich abstoßen und die der andern Flüssigkeit anziehen. Dabei fände aber kein Uebergehen in ein anderes Massentheilchen des Eisens statt. Bei der Annäherung eines Magnets geht nun eine solche Scheidung der beiden Flüssigkeiten vor sich, daß der gleichnamige Magnetismus von dem Magnetpol zurückgedrängt und der entgegengesetzte hervorgerufen wird. So wird das Eisen dann selbst zum Magnet. Man nennt dies die magnetische Vertheilung.

Fig. 257.

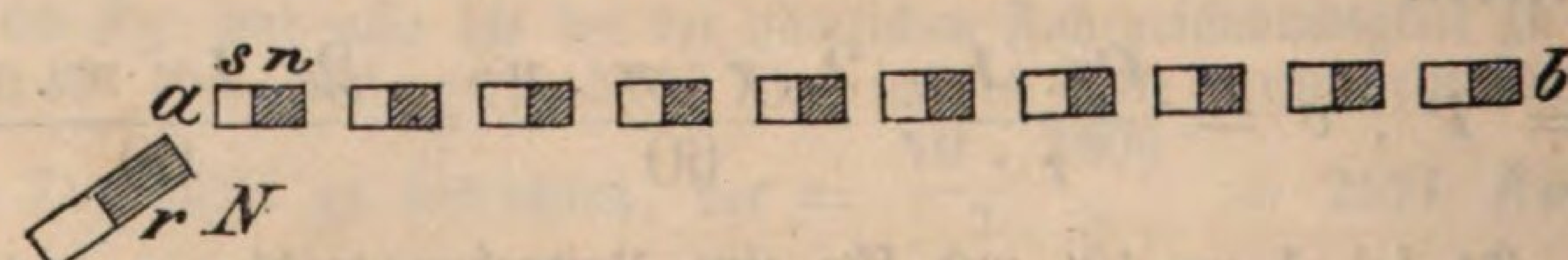
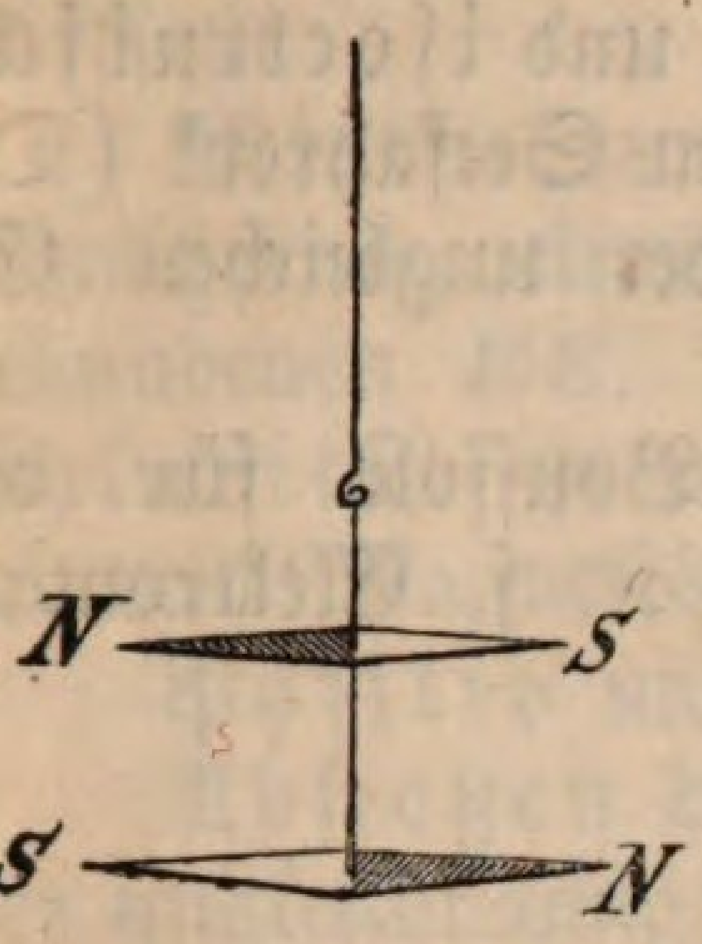


Fig. 257 macht dies deutlich. Ist N der Nordpol des Magnets, so wird in dem Eisenstabe ab bei a der Südpol hervorgerufen. In jedem

Fig. 258.



Massentheilchen des Stabes sammelt sich dann einerseits der Südpol-, andererseits der Nordpolmagnetismus.

Messen sehr geringer Grade des Magnetismus durch eine sogen. astatische Nadel, Fig. 258. Dieselbe besteht aus zwei gleich stark magnetischen Nadeln, die so verbunden sind, daß sich der Nordpol der einen Nadel über dem Südpol der andern befindet.

2) Erregung des Magnetismus. Vorübergehende: Eisen, besonders Stahl werden magnetisch durch bloßes Annähern eines Magnetes. Vertheilung der beiden magnetischen Flüssigkeiten, deren Wirkungen vorher sich aufheben; aber keine bleibende, sondern nur so lange, als der Magnet in der Nähe ist. — Dauernde Magnetisirung: durch Streichen. Künstliche Magnete. — Einfacher Strich, von der Mitte über das Ende hinaus mit dem einen Pol; anderseits mit dem andern, aber nicht zurück. Doppelstrich: Aufsetzen zweier Magnetstäbe mit ihren ungleichnamigen Polen in der Mitte, Streichen bis an das eine Ende und wieder zurück bis zum andern; zuletzt in der Mitte abheben. — Magnetischwerden durch senkrechte Schläge, rasche Abkühlung 2c., Feilen, Bohrer, Schrauben, Sägen, senkrechte Gitterstäbe 2c. — Erregung durch das violette, blaue und grüne Licht; — durch Elektricität — Elektromagnetismus!

3) Verstärkung künstlicher Magnete durch Armirung. — Anker. Hufeisenmagnet. Magnetische Batterie. — Schwächung durch Rosten, Glühen, plötzliches Losreißen des Ankers und durch längere Nichtarmirung. — Wirkung verstärkter Magnete, Elektromagnete, auf alle starren und tropfbaren Körper; anziehend und abstoßend. — Magnetische und diamagnetische Körper.

4) Magnetische Wirkung der Erde. Ablenkung der Magnetnadel. Abweichung von der eigentlichen Nordlinie (Meridian) = Declination; Senkung unter die horizontale Lage = Inclination.

Declination gegenwärtig bei uns westlich, 16 bis 18°, größte im Jahr 1815; seither abnehmend. Früher östliche Abweichung bis zum Jahr 1660; von da bis 1815 ging die Nadel wieder zurück. — Tägliche Schwankungen in der Declination. Regelmäßige und unregelmäßige. Erstere durch Einfluß der Sonnenwärme.

Inclination um so größer, je mehr polwärts. Bei uns des Nordendes, etwa 70°; am irdischen Pol fast 90°. Umgekehrte Neigung gegen den Südpol; = 0 in gleichem Abstand von beiden Polen. — Die Inclination ist am nämlichen Orte übrigens in verschiedenen Zeiten auch verschieden. Solche war in Paris 1826 = 68°, im Jahr 1835 = 67° 24′. — Nachweisung der Inclination durch eine in ihrem Schwerpunkt aufgehängte Stricknadel, die man über einen Magnetstab bringt.

Linie ohne Declination — magnetischer Meridian und ohne Inclination — magnetischer Aequator. — Isogonische und isoclinische Linien! Erstere sehr unregelmäßig. Wichtig für den Seefahrer! (Declinationskarten) — Schwankungen, Einfluß der ungleichen Erwärmung der Erdoberfläche; Nordlicht ꝛc.

5) Anwendung: Compaß für Schifffahrer, Boussole für den Geometer, für Mineurs ꝛc.; zur Telegraphie, Uhren ꝛc. s. Elektromagnetismus.

XVI. Von der Elektricität.

A. Elektricität durch Reibung.

1) Werden gewisse Körper gerieben, z. B. eine Glasröhre vermittelst eines Seidentuches, oder eine Siegellackstange durch wollene Lappen, so treten eigenthümliche Zustände ein: Anziehen und Abstoßen leichter Körper, leuchtend, Funken gebend, in größerem Maßstabe erschütternd; chemische Verbindungen zerlegend, auf Magnete wirkend, eigenthümlichen Geruch und Geschmack verbreitend; — die Körper werden elektrisch. — So namentlich zieht eine mit einem seidenen Kissen geriebene Glasröhre Papierschnitzel, an Seidenfäden aufgehängte Hollundermarkkügelchen, Goldblattstreifen ꝛc. an und stoßt sie dann ab; auf den genäherten Fingerknöchel springt ein Funke über; nähert man die Röhre dem Gesicht, so glaubt man ein Spinnengewebe zu fühlen ꝛc.

Elektrische Erscheinungen bei gar vielen mechanischen, hauptsächlich aber bei chemischen Thätigkeiten. — Hervorrufung durch bloßes Schwingen und Bürsten eines Seidentuchs, Papierblatts ꝛc.; durch bloße Berührung mancher Körper; durch Wärme; Krystallisation; bei organischen Prozessen; durch Einfluß des Magnetismus. — Elektrischer Zustand bei Thieren (Zitteraal, Zitterrochen). — Elektrische Erscheinungen in der Atmosphäre — Blitz!

2) Elektrische und nichtelektrische Körper. — Leiter und Nichtleiter; erstere: die Metalle, Kohle; dann auch Wasser, feuchte Luft, der menschliche und thierische Körper; letztere: hauptsächlich Glas, Harz, Seide, Haare, Felle; überhaupt die Körper, welche leicht elektrisch werden — d. h. sie behalten die Elektricität; — dann noch: trockene Luft, trockenes Holz ꝛc.

Isoliren leitender Körper, damit sie die erregte oder mitgetheilte Elektricität behalten dadurch, daß man sie mit Nichtleitern verbindet, z. B. durch Aufhängen an Seidenfäden oder durch Stellen ꝛc. auf Glas- oder Harzfüße.

3) Wie es zweierlei sogen. magnetische Flüssigkeiten gibt, so gibt es auch zweierlei entgegengesetzte *EE.* (Elektricitäten), eine sogen. positive (+) und negative (— =) Glas- und Harz-*E.* in jedem Körper. In gewöhnlichen Zuständen binden (neutralisiren) sich die

beiden *EE.*; durch obige Einwirkungen werden solche getrennt, frei und wirksam.

Mittheilung und Vertheilung der *E.* Letztere bei bloßer Annäherung eines elektrischen Körpers. Hiebei Trennung der bisher gebundenen *EE.* so lange, als der elektrische Körper in der Nähe ist. Polarität + und — *E.* an den Enden des Körpers (ähnlich wie bei dem Magnetismus!).

Positiv und negativ elektrische Körper.

Abstoßen der Körper, welche die gleiche *E.* besitzen; Anziehen der ungleichnamigen *EE.* — Sonst in ihren Wirkungen übereinstimmend, wenn auch nicht identisch (verschiedene Funken! ꝛc.).

Man zeigt das Anziehen ungleicher und das Abstoßen gleicher Elektricitäten am einfachsten, indem man an den beiden Enden eines Seidenfadens Kork oder Hollundermarkkügelchen ꝛc. anbringt und den Faden in seiner Mitte auflegt. Empfangen dann beide Kügelchen die gleiche Elektricität, so fliehen sie sich. Macht man aber das eine + elektrisch und das andere — elektrisch, so ziehen sie sich an.

Messung geringer Spuren der Elektricität durch Elektrometer oder Elektroscope.

4) Hervorrufung größerer Wirkungen durch die Elektrisirmaschine (O. v. Guerike). Die wesentlichen Bestandtheile sind: der reibende Körper, gewöhnlich eine Glasscheibe, Glaskugel oder Glascylinder, das Reibkissen, welches noch amalgamirt wird (2 Thl. Quecksilber, 1 Thl. Zinn, 1 Thl. Zink) und der isolirte Elektricitätsträger (Conductor) mit dem Zuleiter. Sodann sollen auch noch Ketten den Reibzeug mit der Erde verbinden. — Dampfelektrisirmaschine (Reibung des ausströmenden Dampfes). — Ansammlung, Verstärkung der *E.*: Condultor, Franklin'sche Tafel; Leydner oder Kleist'sche Flasche: elektrische Batterie; Elektrophor (8 Thl. Schellack und 1 Thl. venetianischer Terpentin). — Stets ruft das Vorhandensein der einen *E.* die entgegengesetzte hervor. So in der Glasscheibe und im Kissen der Maschine; ebenso im Kuchen und Deckel des Elektrophors; in der innern und äußern Belegung der Flasche. — Zuströmen der entgegengesetzten *E.* aus der Erde zum Reibkissen, zur äußern Belegung der Flasche ꝛc. — Laden einer Flasche durch Verbindung der *E.*quelle mit der innern Belegung. Entladung (elektrischer Funke) = rasche und heftige Ausgleichung der beiden getrennten *EE.* durch Verbindung der innern und äußern Belegung. Anziehung der entgegengesetzten *EE.* — Strömung. Elektrischer Strom*).

5) Wirkung der verstärkten Reibungs-*E.*: Kräftige Funken, Pulver, Schießbaumwolle, Aether ꝛc. entzündend; Draht schmelzend; heftige

---

*) Hier müssen beim Unterricht die wesentlichsten Apparate absolut zu Gebote stehen; darum sind Abbildungen überflüssig. — Zu den Versuchen ist warme, trockene Luft (ein geheiztes Zimmer) nöthig.

Wirkungen auf das Nervensystem; Magnetisirung eines Stahlstabs; chemische Verbindungen zerlegend und herstellend. Kohlensäure wird zerlegt, Knallgas wird durch den kleinsten Funken zu Wasser, d. h. Wassergas — überhaupt Licht- und Wärmeerscheinungen, physiologische, magnetische, chemische und mechanische Wirkungen. — Elektrisiren einer isolirten Person, durch welche sich dann die nämlichen Wirkungen zeigen lassen, wie durch eine geladene Flasche. — Blitztafel.

Beim Entzünden von Schießbaumwolle &c. muß die Zuleitungskette der Flasche durch einen nassen, leinenen Faden unterbrochen werden, damit beim Durchgehen der Elektricität eine Verzögerung eintritt.

6) Fortpflanzung des elektrischen Funkens — Stroms — nach jeder Richtung; dem besten Leiter folgend. Geschwindigkeit = = 62000 Meilen per Sekunde. Die Geschwindigkeit des elektrischen Stroms in Telegraphenleitungen ist übrigens geringer und soll nach vorgenommenen Messungen im Eisendraht nur 13500 und im Kupferdraht 24300 Meilen betragen. Dies kommt daher, daß durch die Einwirkung auf das umgebende Mittel neue elektrische Ströme entstehen, welche auf die Geschwindigkeit des ursprünglichen Stromes Einfluß haben und diesem einen Widerstand bieten.

7) Atmosphärische *E*. Entstehung nicht bekannt. Man glaubt durch Verdunstung und vegetabilische &c. Prozesse. Erste Versuche durch Franklin (1752) mit Drachen. Ein Elektrometer zeigt, daß die Atmosphäre stets + *E*. besitzt; bei Gewittern + und — *E*. Sammlung der *E*. in den Wolken — Vertheilung. Die Erde zeigt dabei immer entgegengesetzte *E*. — Entladung, Ausgleichung der Wolken- und Erd-*E*. Blitz = elektrischer Funke. — Donner entstanden durch wiederholte Erschütterungen der Luft. — Entfernung eines Gewitters! — Anziehung des Blitzes. Blitzableiter.

8) Schutz gegen den Blitz: Meide alle hohen Gegenstände, Ansammlungen von Wasser, Metallen, Menschen und Thieren, rasches Gehen &c.; im Hause stelle dich nicht an Wände, unter Thüren, Fenster, Schornsteine, Oefen; lösche das Feuer! — Rettungsmaßregeln bei Getroffenen: frische Luft, Aderlassen, Begießen mit Wasser, Reibung der Fußsohlen, Bedecken mit Erde bis zum Gesicht.

Andere atmosphärische elektrische Erscheinungen: Wetterleuchten, Nordlicht, St. Elmsfeuer &c.

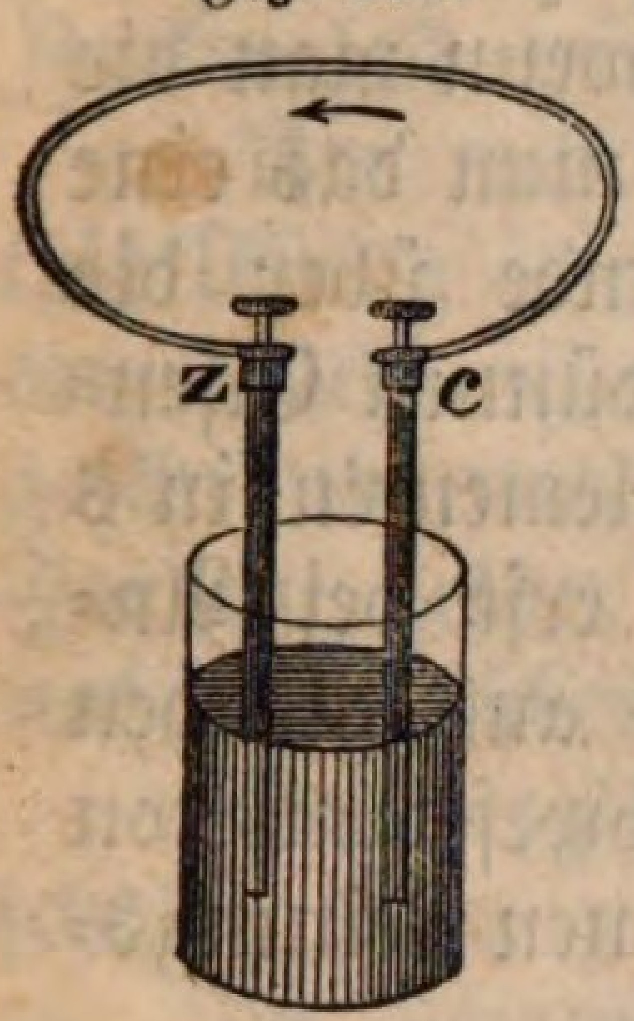
B. Galvanismus oder Berührungselektricität.

1) So oft zwei verschiedene Körper, namentlich Metalle sich berühren, wird der eine + und der andere — elektrisch. Zink in Berührung mit andern Metallen stets + elektrisch. — Man kann diese Erscheinungen durch Metallplatten nachweisen, die durch gläserne Handgriffe isolirt sind. — Besonders aber wird der elektrische Zustand wahrgenommen bei Metallen, wenn solche in eine leitende Flüssigkeit, z. B. in verdünnte Säuren gebracht werden. Das hervorragende Metallende

ist dann immer —, die Flüssigkeit + elektrisch. — Zink der stärkste Elektromotor (Kupfer und Zink auf und unter die Zunge und vorn in Berührung gebracht!). — Werden zwei Metalle eingetaucht, so daß sie einander nicht berühren, sich aber ziemlich nahe sind, so ist das eine an seinem hervorragenden Ende +, das andere — elektrisch. — Zink hiebei, mit allen andern Metallen, in Berührung einer Flüssigkeit negativ (—) elektrisch. — Elektrische Pole; positiver und negativer Pol.

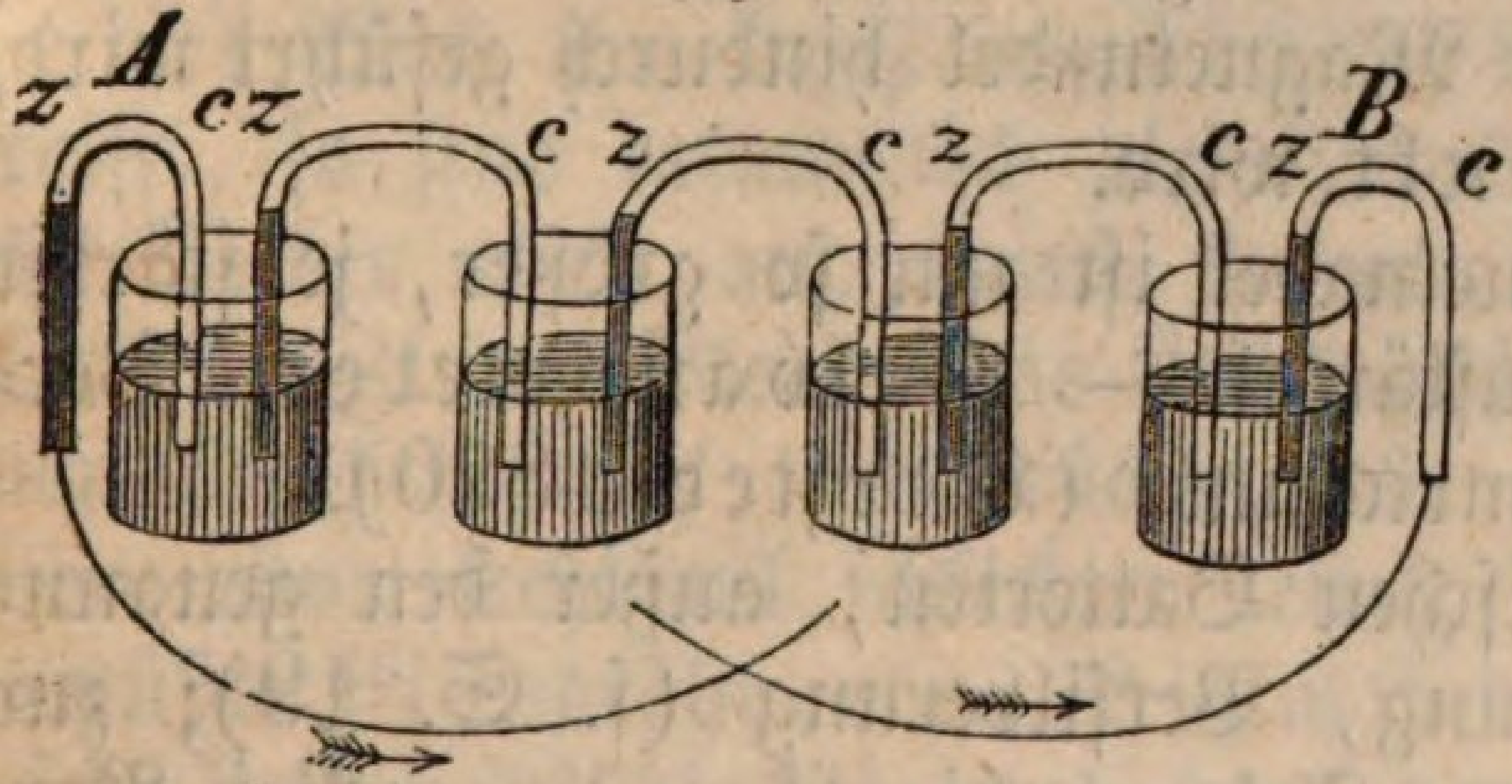
Galvanische E. oder Galvanismus (Galvani 1790). — Galvanische (Volta'sche) Ketten, Batterien mit 1, 2, 3 ꝛc. Elementen. Volta'sche Säulen (1800). — Daniell'sche (Kupferzink-), Grove'sche (Platinazink-), Bunsen'sche (Kohlenzink-) Batterie ꝛc.

Fig. 259.



2) Verbindet man die beiden Metallenden, d. i. die beiden Pole einer galvanischen Batterie, z. B. durch einen Draht miteinander, wie in Fig. 259, so findet eine fortwährende Ausgleichung der beiden vertheilten Elektricitäten, d. i. gleichsam ein Ueberströmen der Elektricitäten von dem positiven Pol nach dem negativen und umgekehrt statt. Man nennt dies die elektrische Strömung und spricht aber vorzugsweise nur von dem Strom, der vom positiven Pol nach dem negativen übergeht.

Fig. 260.



Also geht der galvanische (elektrische) Strom bei einer Kupferzink-, Platinazink-, Kohlenzink-Batterie ꝛc. vom Kupfer (Platina, Kohle) durch den Draht stets nach dem Zink, von da durch die Flüssigkeit wieder zurück an das Kupfer. — (Umgekehrter negativer Strom!). — Offene und geschlossene Kette. — Zusammengesetzte Ketten, Fig. 260 und 261, wobei stets das negative Element des einen Gefäßes ꝛc., mit dem positiven Element des nächsten Gefäßes verbunden ist.

Fig. 261.



3) Die Wirkungen des galvan. Stroms

sind alle obigen, namentlich kräftig aber Licht- und Wärmeentwickelung, die physiologischen und chemischen Wirkungen. Beispiele: Sprengungen von Felsen, selbst unter Wasser, Entzünden von Minen (Höllenmaschinen). Zerlegung des Wassers und namentlich der Metalllösungen. (Am + Pol erscheint der negative Sauerstoff und am — Pol der positive Wasserstoff; ausgeschiedene Metalle schlagen sich immer am — Pol ab). – Schutz des Eisens und Kupfers, bei Dachdecken, Schiffen, Salzpfannen 2c. vor Oxydation 2c. durch Zinkbelegung und Verzinkung. (Zink dabei + elektrisch; daher geht es die Verbindung mit Sauerstoff 2c. ein). — Elektrisches Licht erzeugt, wenn die Leitungsdrähte in sich gegenüberstehende Kohlen- oder Kohksspitzen endigen.

Die Lichterscheinungen lassen sich am besten zeigen, wenn man die Drahtenden amalgamirt und sich dann nähert; oder wenn man das eine Ende mit einer Feile verbindet und mit dem andern Ende über die Feile gleitet. Verbindet man die Drahtenden durch sehr dünnen Eisendraht, so geräth derselbe bei Anwendung von 3 — 4 Elementen in's Glühen und Schmelzen. Das elektrische Licht läßt sich erst bei Anwendung von etwa 6 Elementen zeigen. Entzünden eines aus gleichen Theilen bestehenden Gemenges von fein gepulvertem Schwefelantimon und chlorsaurem Kali, das man zwischen den durchschnittenen Leitungsdraht bringt.

Eine der wichtigsten Wirkungen des galvanischen Stroms ist die, daß wenn er über oder unter einer Magnetnadel hindurch geführt wird, diese dann aus ihrer Lage abgelenkt wird.

Diese Ablenkung der Magnetnadel ist um so größer, je stärker der Strom ist. Messung der Stromstärke! – Galvanometer. Verschiedene Ablenkung nach der Stromrichtung (Oersted 1820).

4) Anwendung der galvanischen Batterien, außer den genannten, bei der galvanischen Vergoldung, Versilberung (s. S. 19); zur Galvanoplastik (Jakobi 1838); zur Telegraphie (s. u.) — Bei Vergoldungen, Versilberungen hat man stets eine Lösung des entsprechenden Metalls, dann kommt an den von dem + Pol ausgehenden Draht ein Blättchen des nämlichen Metalls; alsdann löst sich von diesem soviel, als aus der Lösung ausgeschieden wurde und letztere bleibt immer brauchbar. — Contaktvergoldung 2c.: Man bringt bloß den Gegenstand in der Metalllösung mit einem Zinkstab in Berührung oder umwickelt erstern mit einem Messingdraht; der Stab (Draht), der zu vergoldende 2c. Gegenstand und die Lösung bilden dann eine Batterie. — Zur Galvanoplastik: Formen der nachzubildenden Münzen 2c., von Wachs mit Stearin, auch mit feingeschabtem Gyps. Auch 8 Thl. Wismuth, 5 Thl. Blei und 3 Thl. Zinn, welche man auf eine kalte Platte ausgießt und die Münze 2c. darauf fallen läßt; auch Formen von Guttapercha durch Druck hervorgebracht. Vorher die Münze 2c. mit Oel fettig machen; bei Wachs 2c. die Münze etwas erwärmen. Leitendmachen der Bildfläche mit Graphit oder besser mit gefälltem

Silberpulver durch Auftragen mit Pinsel. (Vorsicht, daß der Rand nicht leitend wird! Bringt man die Form über Terpentindämpfe, so nimmt solche das Silberpulver ꝛc. leichter an.) Concentrirte Lösung von Kupfervitriol. Die Form kommt wieder mit dem — (Zink-) Pol in Verbindung. Der Draht des + Pols endigt in eine Kupferplatte. — Der Niederschlag des Metalls darf nur langsam und in feinzertheiltem Zustande geschehen; darum schwache, stark verdünnte Säuren angewendet. Dauer des Prozesses, je nach der Dicke des Niederschlags, bis mehrere Tage. Oft abspülen!

Zu galvanotechnischen Arbeiten eignet sich und ist ganz billig herzustellen, ein etwas großes Kupfer-Zink-Element, das sich in einem Zuckerglas mit stark- (bis 40fach) verdünnter Schwefelsäure befindet.

Um mehrere Abdrücke zu gleicher Zeit zu erhalten, hat man die Vitriollösung in einer Porzellanschüssel, auf welcher oben ein Kupferring angebracht ist. An diesen wird der vom Zink kommende Draht festgeschraubt und die verschiedenen Formen an Drähten aufgehängt. Die Formen selber müssen der eingetauchten Kupferplatte (positiver Pol) nahe gegenüberstehen.

Bei dergleichen Arbeiten sollte man jedesmal eine Boussole einschalten, um zu sehen ob immer eine hinlängliche Strömung stattfindet. — Im Zimmer sollte die Temperatur nicht unter 15° C. sein. Erwärmte Goldlösungen ꝛc. begünstigen den Vorgang ebenfalls.

5) Was die Leitungsfähigkeit der Körper für Elektricität betrifft, so sind bekanntlich die Metalle die besten Leiter. Unter diesen steht Silber oben an, dann kommt Kupfer, Gold, Messing, Eisen, Platina, Zinn, Blei. Die Leitungsfähigkeit nimmt ab mit der Länge einer Drahtleitung und wächst aber mit dem Querschnitte. Da nun Eisen etwa sechsmal schlechter leitet, als ein gleich dicker Kupferdraht, so müßte Eisendraht etwa 2½ mal dicker, als Kupferdraht sein, um gleiche Leitungsfähigkeit zu haben; denn dann wäre der Querschnitt des Eisendrahtes $\frac{5}{2} \cdot \frac{5}{2} = 6\frac{1}{4}$ mal größer.

Da ein Metalloxyd die Leitungsfähigkeit nicht mehr hat, wie das Metall selbst, so müssen die Leitungsdrähte an den Verbindungsstellen einer Batterie ꝛc. beim Gebrauch immer frisch gefeilt werden.

C. Elektromagnetismus.

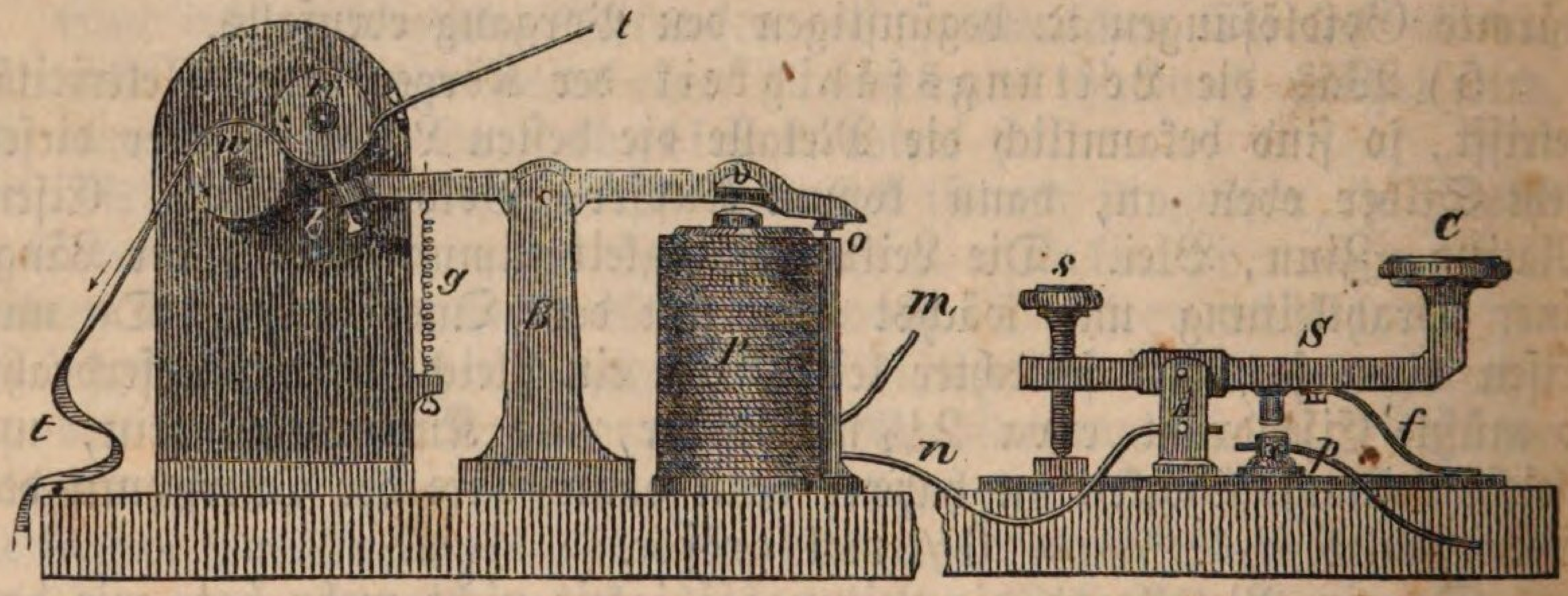
Wird der elektrische Strom in mehreren Windungen um ein Stück weiches Eisen geführt, so wird dieses magnetisch und zwar um so stärker, je mehr Windungen des isolirten Drahtes (— Multiplicator —) stattfinden; aber nur so lange, als die Strömung dauert — Elektromagnet. — Wechselwirkung zwischen Magnetismus und Elektricität. Jener ruft diese und also auch letztere erstern hervor.

Dieser vorübergehende magnetische Zustand eines Stück Eisens

findet seine wichtigste Anwendung in der Einrichtung der elektromagnetischen Telegraphie, sowie der elektrischen Uhren. Der Hauptvorgang ist hiebei ein wechselndes Anziehen und Losreißen des Ankers und damit die Erzeugung und Vermittlung irgend einer Bewegung durch den Elektromagneten, je nachdem die Strömung hergestellt oder unterbrochen ist. — Erfordernisse der Telegraphie: Batterie, Leitung hin und zurück, Elektromagnet mit Anker, zeichengebender Apparat an beiden Stationen. — (Erde als Leiter benutzt, darum nur ein Draht erforderlich — entdeckt von Steinheil in München). — Vorgang: Der Strom geht vom positiven Pol der Batterie, bei Herstellung der Verbindung durch den Telegraphisten, durch den Draht nach dem Orte, an welchen die Nachricht gegeben werden soll; dort um den Elektromagneten, welcher den Schreib- (Zeichen-) Apparat in Thätigkeit setzt; von da durch die Erde zurück und an den negativen Pol der Batterie. — Zuerst Signalangabe für die betreffende Station; Antwort dieser, daß sie verstanden habe; dann Mittheilung der Depesche.

Morse'scher Schreibtelegraph, Fig. 262: Der Elektromagnet *P* zieht das Ende *O* eines Hebels an; bei Aufhören der Strömung zieht

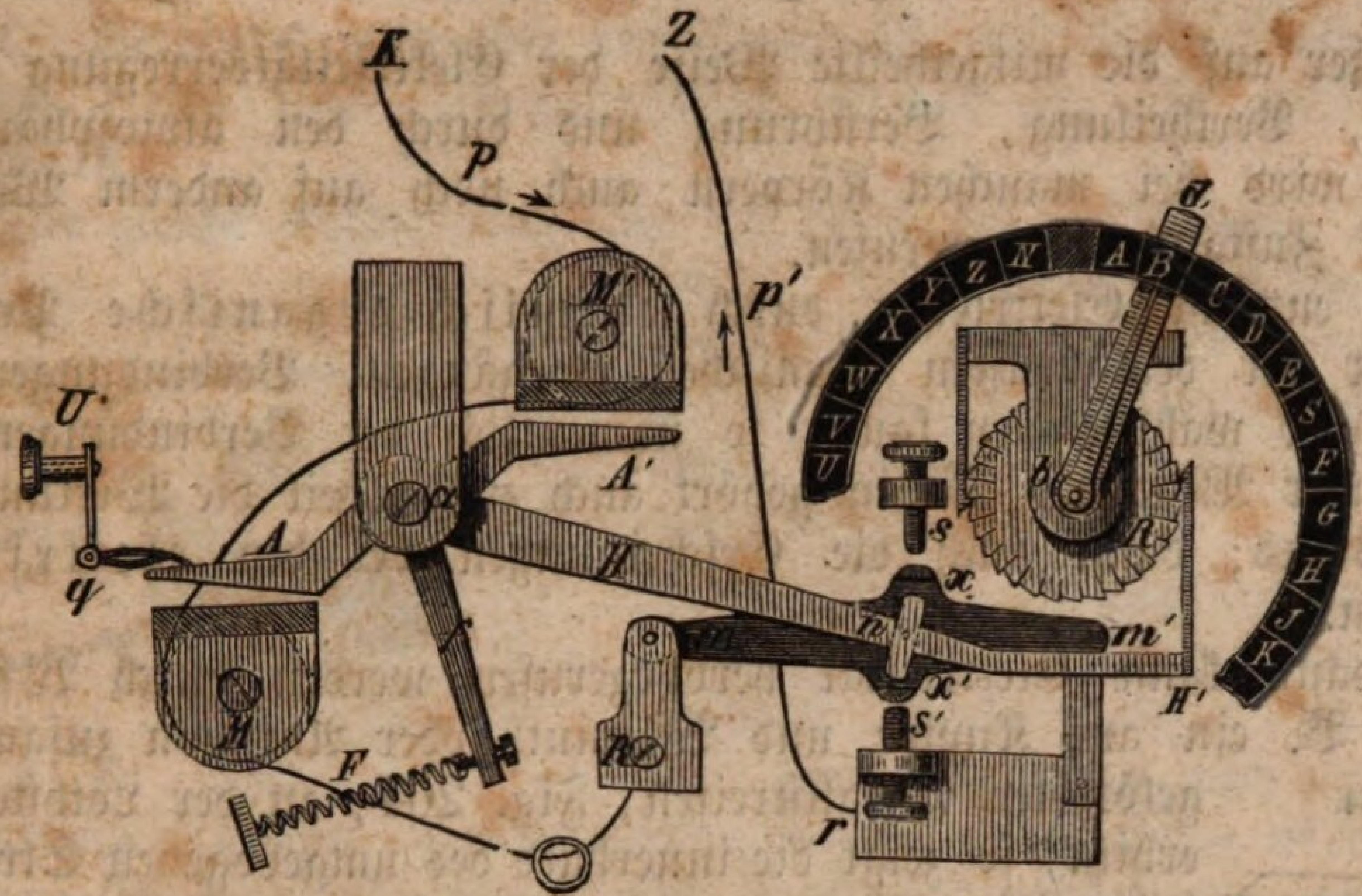
Fig. 262.



eine Stahlfeder *g* den Hebel wieder ab. Das entgegengesetzte Hebelende trägt einen Stahlstift *b*, welcher auf, über eine bewegte Rolle gehendem Papier *t* Zeichen eindrückt. Zur Herstellung des Stroms dient der Schlüssel *S*. Derselbe wird durch eine Feder *f* gehoben oder ausgelöst. Wird der Schlüssel in *C* aber abwärts gedrückt, so geht der Strom durch *p*, den metallischen Schlüssel und den Draht *n* an den Elektromagneten; von *m* geht der Strom wieder zurück.

Siemens-Halske'scher Zeichentelegraph, Fig. 263. Der Anker *AA'* ist mit einem, in einen Haken *H'* auslaufenden Hebel verbunden; der Haken greift in ein Zahnrad *R* und dreht dieses, bei jedesmaligem Anziehen des Ankers, um einen Zahn. Ein Zeiger *bB* zeigt dann auf den entsprechenden Buchstaben eines Zifferblatts.

Fig. 263.



Pouguet's elektrochemischer Telegraph ist nach einem andern Prinzip construirt. Derselbe hat nämlich keinen Elektromagneten. Ein Metallknopf (+ Pol) ist in beständiger Berührung mit einem über eine leitende Scheibe (— Pol) geschlungenen mit Blutlaugensalz getränkten Papier. Der Strom wird durch den Morse'schen Schlüssel hergestellt oder unterbrochen. Bei Herstellung der Verbindung scheiden sich durch Zersetzung des Cyancaliums auf dem Papier **blaue** Zeichen aus.

Der **Nadeltelegraph**, ebenfalls **ohne** Elektromagnet: Je nachdem der galvanische Strom in einer Richtung über eine Magnetnadel, Magnetring 2c. geführt wird, wird die Nadel 2c. nach der **einen** oder **andern** Seite abgelenkt oder es schlägt ein Stift an eine Glocke. — Combination beider Ablenkungen. — **Stromwechsler.** Dieser dient dazu, die Verbindung so zu wechseln, daß einmal der Strom in der einen Richtung, dann in der entgegengesetzten über die Magnetnadel geführt wird.

Relais nennt man eine Vorrichtung, durch welche an den einzelnen Stationen die daselbst befindlichen sogen. Localbatterien in die Leitung eingeschoben oder ausgelöst werden. Im ersteren Fall wird dadurch der Strom verstärkt und es kann dann auf die größten Entfernungen telegraphirt werden.

Erste eigentliche Telegraphen von **Gauß**, **Weber** und **Steinheil** 1833.

Elektrische **Uhren**. Bloße Räder- und Zeigerwerke, welche vermittelst der Wirkung eines mit einer **Normaluhr** verbundenen und temporär ausgelösten Elektromagneten mit Anker und Haken mit jener vollkommen übereinstimmend bewegt werden.

Elektromotorische Kraftmaschinen!

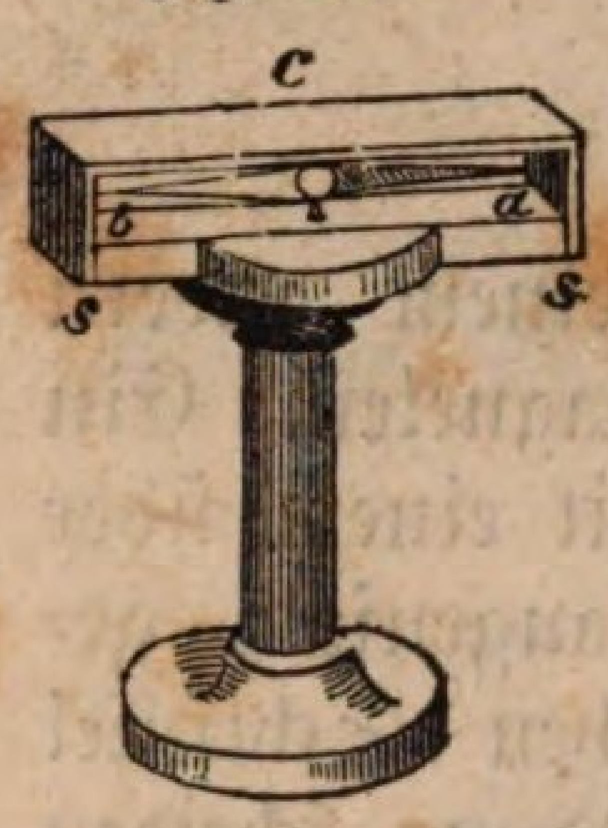
D. Elektricitätserregungen auf verschiedenen Wegen.

Außer auf die mitgetheilte Weise der Elektricitätserregung durch Reibung, Vertheilung, Berührung und durch den atmosphärischen Prozeß, wird bei manchen Körpern auch noch auf anderm Weg der elektrische Zustand hervorgerufen.

So entsteht Elektricität durch chemisch-organische Processe, wie man bei den meisten chemischen Vorgängen, Verbindungen und Scheidungen wahrnehmen kann; so namentlich bei Verbindungen von Säuren mit Alkalien. Dahin gehört auch zum Theil die Wirkung des Galvanismus; dann auch die Erscheinungen bei den elektrischen Thieren.

Sodann kann Elektricität hervorgerufen werden durch Wärme. Wird z. B. ein aus Kupfer und Wismuth oder Antimon zusammengelötheter Metallstreifen, Fig. 264, an der Löthstelle *S* erhitzt, so zeigt die innerhalb des umgebogenen Streifens befindliche Magnetnadel sogleich das Entstehen eines elektrischen Stroms an. Auch hat man schon das Entstehen eines elektrischen Stroms durch Einwirkung des Lichts, der sogen. Haarröhrchen-Anziehung, sowie durch Druck und Spaltung bemerkt. Letztere Erregung, z. B. durch Druck auf eine isolirte Metallscheibe, durch Spalten von Glimmerblättern 2c.

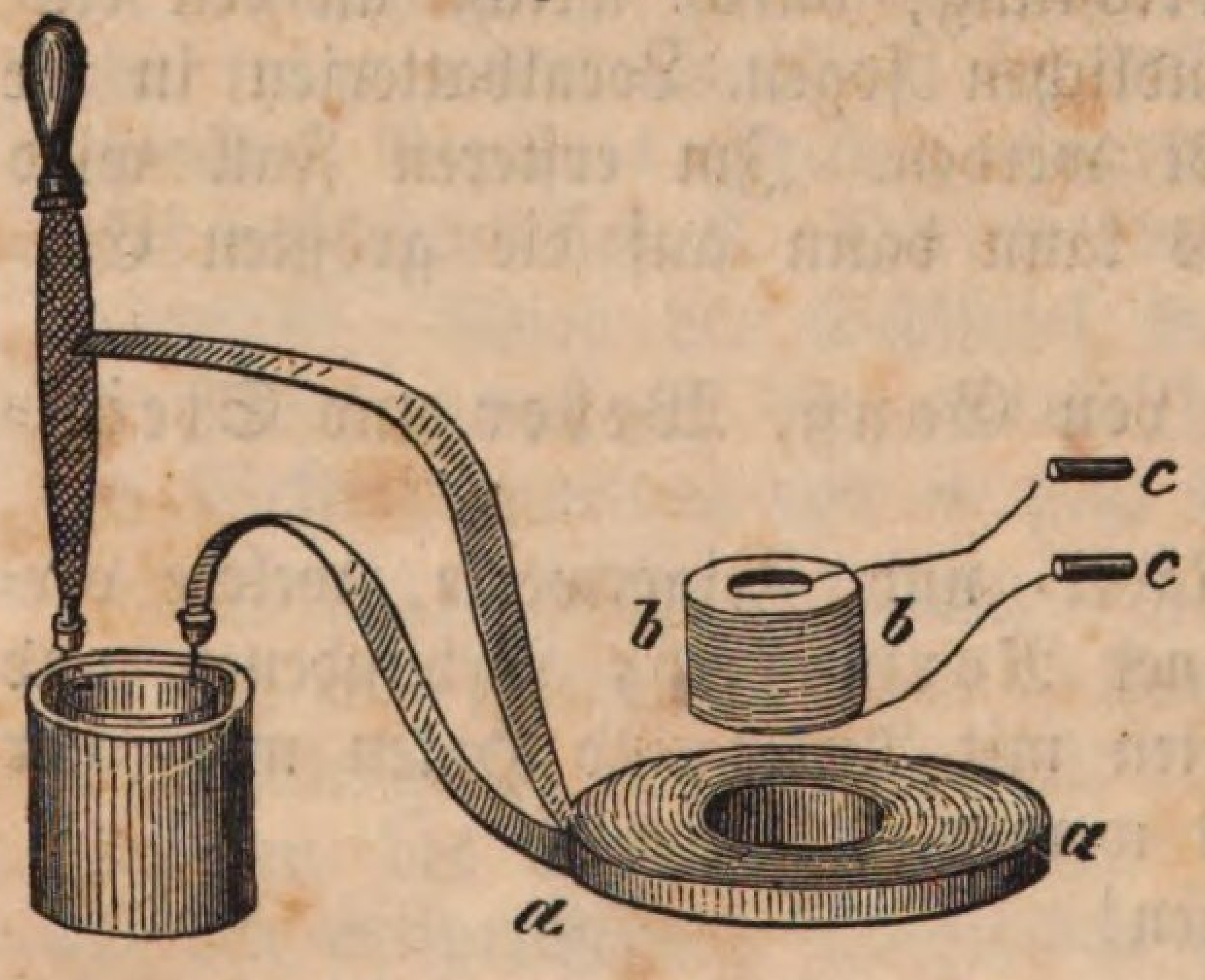
Fig. 264.



Endlich noch kann durch Magnetismus Elektricität, wie umgekehrt jener durch diese hervorgerufen werden. Ein Beispiel, daß ein Magnet Elektricität hervorrufen kann, hat man darin, daß wenn man einen hohlen Schraubendraht (eine Drahtspule) schnell über den Pol eines Magnets bis zu seiner Mitte schiebt, dann in dem mit einem Multiplicator versehenen Draht ein elektrischer Strom wahrgenommen wird.

Und selbst durch einen elektrischen Strom können in benachbarten Körpern andere elektrische Ströme hervorgerufen werden. — Neben- oder inducirte Ströme.

Fig. 265.

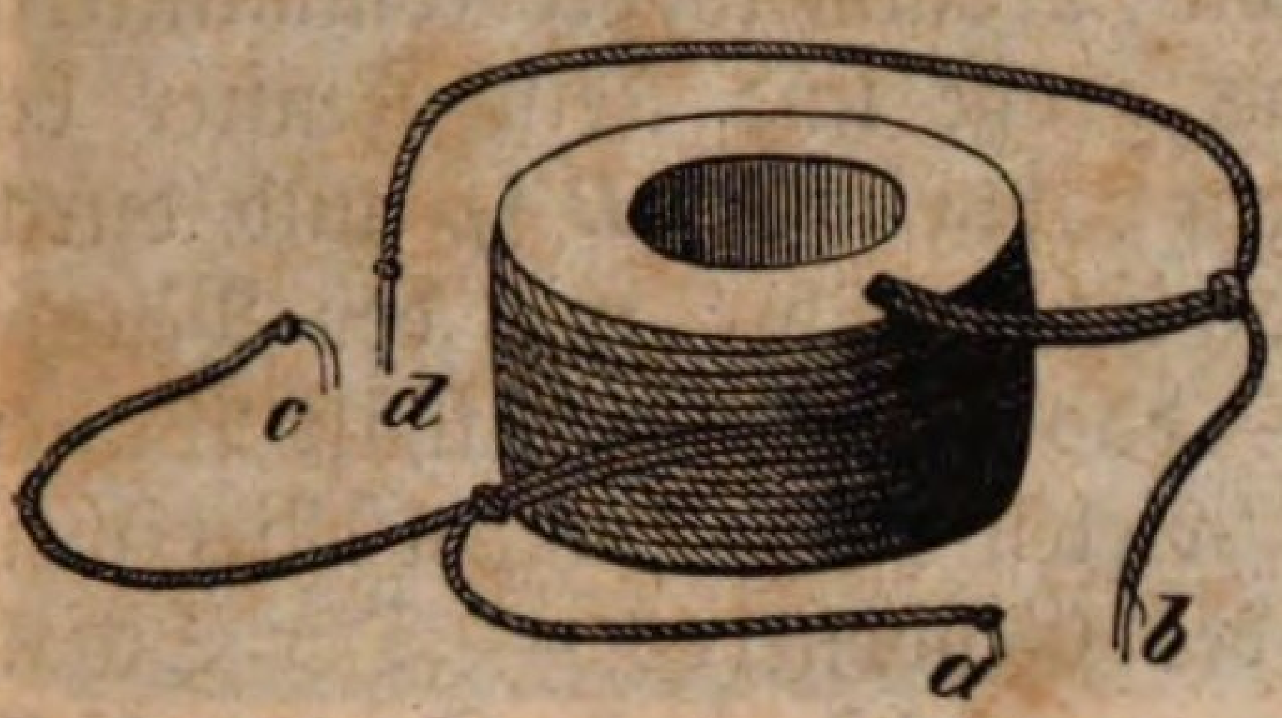


Wird z. B. zwischen einem spiralförmig gewundenen Kupferstreifen oder einem Kupferdraht *aa*, Fig. 265, dessen Windungen von einander gut isolirt sind, eine ebenso isolirte Drahtrolle *bb* gesteckt, und es sind die Enden von *aa* mit einer galvanischen Batterie in Verbindung gesetzt, so wird eine Person, welche die Handhaben *cc* faßt, bei einer jedesmaligen

Unterbrechung der Verbindung mit der Batterie eine Erschütterung verspüren. Verbindet man aber den Draht *bb* mit einem Galvanometer, so zeigt dieses einen umgekehrten Strom an, als der durch *aa* gehende ist.

Die gleiche Erscheinung läßt sich durch die Drahtspule, Fig. 266, zeigen, bei welcher zwei lange übersponnene Drähte neben einander aufgewickelt sind und wovon die Enden des einen Drahts mit der Volta'schen Kette verbunden sind.

Fig. 266.



Wird in die Höhlung der Spule noch ein Stück weiches Eisen oder ein Bündel einzelner unter sich isolirter Eisenstäbe gebracht, so wird die Wirkung des inducirten Stromes noch mehr verstärkt. Das Eisen wird nämlich zu einem Magnet und dieser ruft in dem Drahtgewinde selbst wieder einen elektrischen Strom hervor.

Inductionsrollen, Inductionsapparat. Starke physiologische (medizinische) Wirkungen derselben.

XVII. Vom Schall.

Der Schall entsteht durch Schwingungen (Oscillationen) der Körper; — vorzüglich bei gespannten, elastischen Körpern. — Luft = = Hauptschallträger — Wellenbewegung. Regelmäßiger Schall = Klang oder Ton.

Ton um so höher, je mehr Schwingungen, je kürzer und gespannter die schwingenden Theile (Geigen- und Klaviersaiten, bei Blasinstrumenten je kürzer die schwingende Luftsäule ist ꝛc.). — Schwingungsknoten. Klangfiguren.

Schallträger: Vorzüglich die Luft, aber auch andere, flüssige und feste Körper. Starre, dichte und elastische Körper, die selbst den kräftigsten Schall geben, pflanzen den Schall auch am besten fort. — Verstärkung, Dämpfung durch gute oder schlechte Schallträger. (Obere Luftschichten!)

Schallstrahlen. Fortpflanzung = *ca.* 1100 badische Fuß (332 Meter) in 1 Sekunde. Abnahme nach dem Quadrate der Entfernung. — (Blitz ꝛc.!)

Rückwerfung. Echo. — Communicationsrohr (Kamine, Dohlen, Wasserleitungsröhren), Sprach- und Hörrohr. — Akustische Gebäude (Sternwarten, Theater ꝛc.). — Ellipse, Parabel, Hohlspiegel. — S. oben Fig. 228.

Fig. 267.



Hören. — Ohr. Fig. 267. Ohrmuschel, Gehörgang *bc*, Trommelfell *e* welches die sogen. Trommel- oder Paukenhöhle abschließt. Diese enthält den sogen. Hammer *cgk*, den Ambos *ik*, das Linsenbein *k* und den Steigbügel *mn*; — die Trommelhöhle communicirt durch das große und kleine Fenster bei *m* mit dem Labyrinth *VHAp* und durch die eustachische Röhre mit der Mundhöhle; — das Labyrinth enthält Wasser und die vielen netzförmigen Verzweigungen des Gehörnervs. — Der Schall setzt nun zunächst das Trommelfell, dann durch die Gehörknöchelchen und zuletzt vermittelst des Steigbügels und des großen oder ovalen Fensters das Wasser im Labyrinth in Schwingungen.

XVIII. Vom Licht.

Nach älterer Ansicht wäre das Licht ein feiner Stoff, der von den leuchtenden Körpern ausgeht. Nach der neueren Ansicht aber ist das Licht nur eine Erscheinung, hervorgebracht durch eine eigenthümliche schwingende Bewegung des Alles ausfüllenden Aethers. Lichtschwingungen ähnlich den Wärmeschwingungen, aber nicht die nämlichen.

Leuchtende Körper und beleuchtete. Letztere werfen die sogen. Lichtwellen zurück. — Wirkung und Einfluß des Lichts! —

Fortpflanzung. Stets gerade. Lichtstrahlen. Geschwindigkeit 42000 Meilen per Sekunde. — Schatten. Kern- und Halbschatten.

Lichtstärke, abnehmend nach dem Quadrat der Entfernung. Warum? — Messung durch Photometer (Rumford'sches, Bunsen'sches ꝛc.).

Durchsichtige und undurchsichtige Körper. — Licht- wie Wärmestrahlen werden von Körpern, auf welche sie treffen, entweder durchgelassen, verschluckt oder zurückgeworfen.

Zurückwerfung (Reflexion) hauptsächlich durch polirtes Metall, und auf der Rückseite metallisch oder dunkel gemachtes Glas. Einfallswinkel immer gleich dem Rückwerfungswinkel. — Spiegel. Wirkung hohler, erhabener und zusammengestellter Spiegel. — Kaleidoscop. Zauberperspectiv ꝛc.

Brechung. Wie bei den Wärmestrahlen, beim Uebergang in Mittel von anderer Dichte. — Scheinbarer Standort der Fische, Sterne ꝛc. Erblicken der Sonne, ehe sie im Horizont ist.

Linsengläser. Convexe (erhabene) = Vereinigung; concave

(hohle) = Zerstreuung. Siehe Fig. 268 und 269. Brennpunkt bei convexen Gläsern. Verkehrtes Bild durch diese. — Verbindungen zum Mikroscop, Telescop. — Camera obscura ꝛc.

Fig. 268.

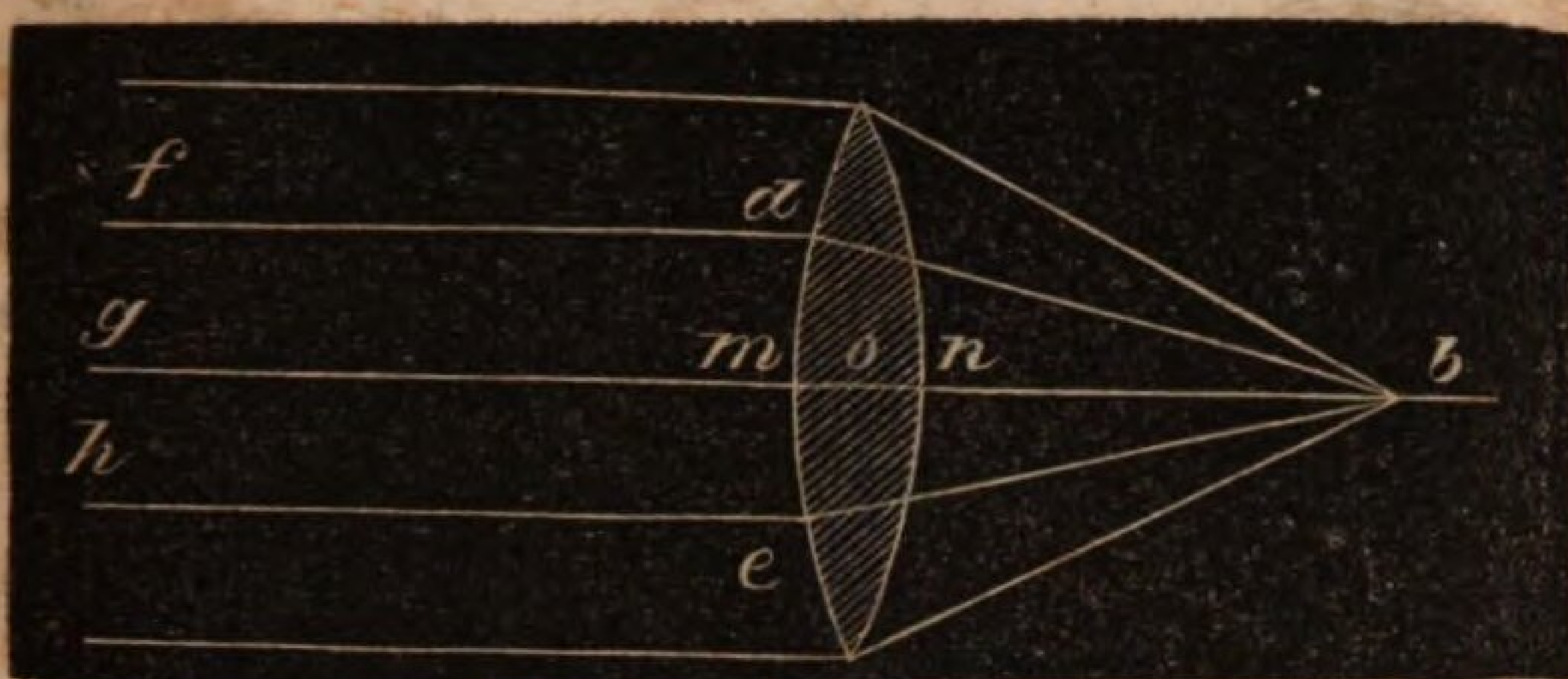
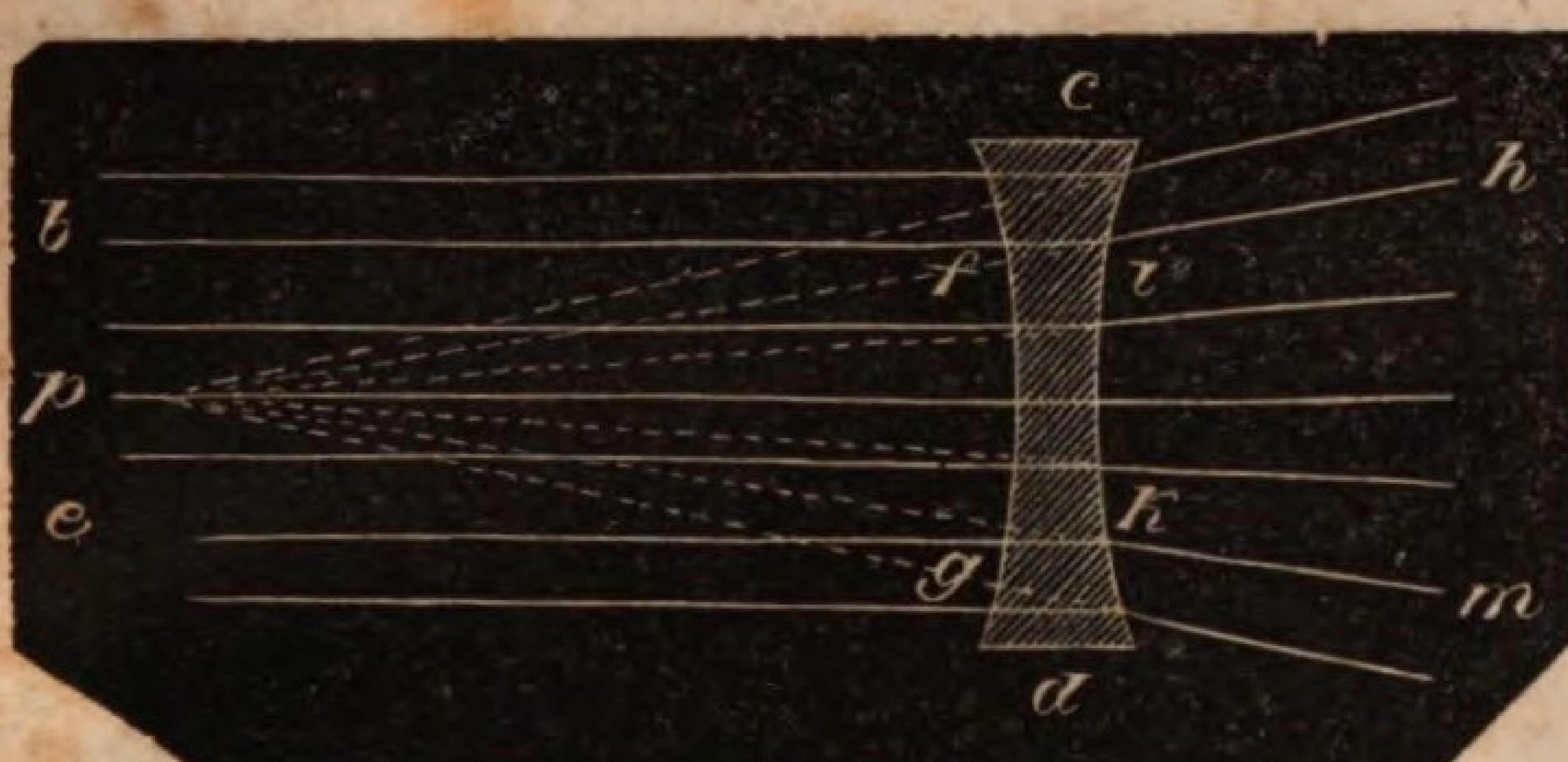


Fig. 269.



Farben. Das Licht ist zusammengesetzt und besteht aus Strahlen verschiedener Art, die ungleich stark gebrochen werden; die einzelnen Strahlen erscheinen dann farbig. Brechung durch's Prisma, Fig. 270. — **Spectrum**, dasselbe, Fig. 270, zeigt von unten an die Farben: **Roth, orange, gelb, grün, blau, indigo** (=blau), **violett**. — Regenbogen. Höfe um Sonne und Mond ꝛc. — Ein Gegenstand erscheint uns **roth** ꝛc., wenn er nur das rothe ꝛc. Licht zurückwirft und alles andere verschluckt; **weiß**, wenn er alles zurückwirft; **schwarz**, wenn er alles verschluckt.

Fig. 270.

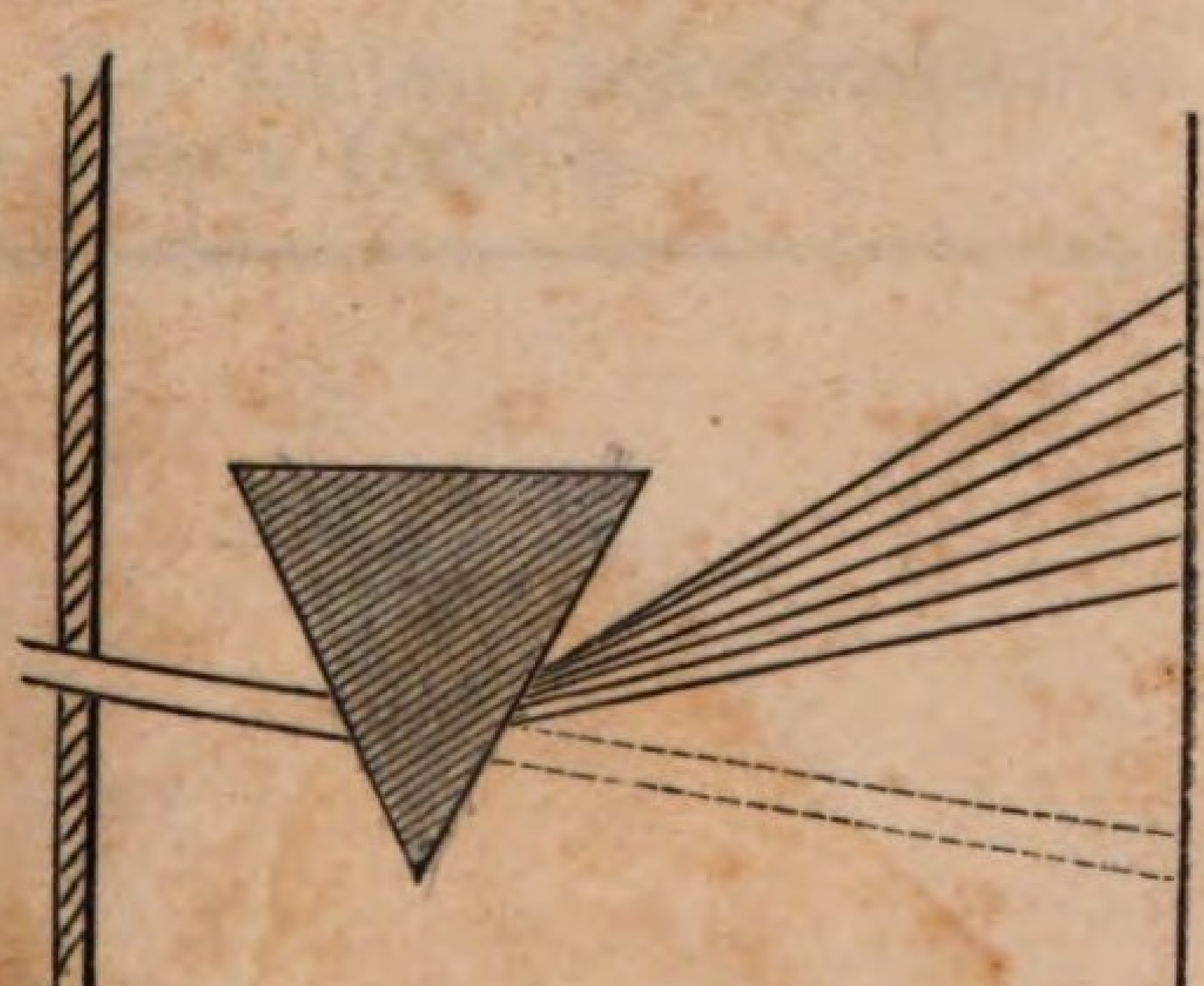
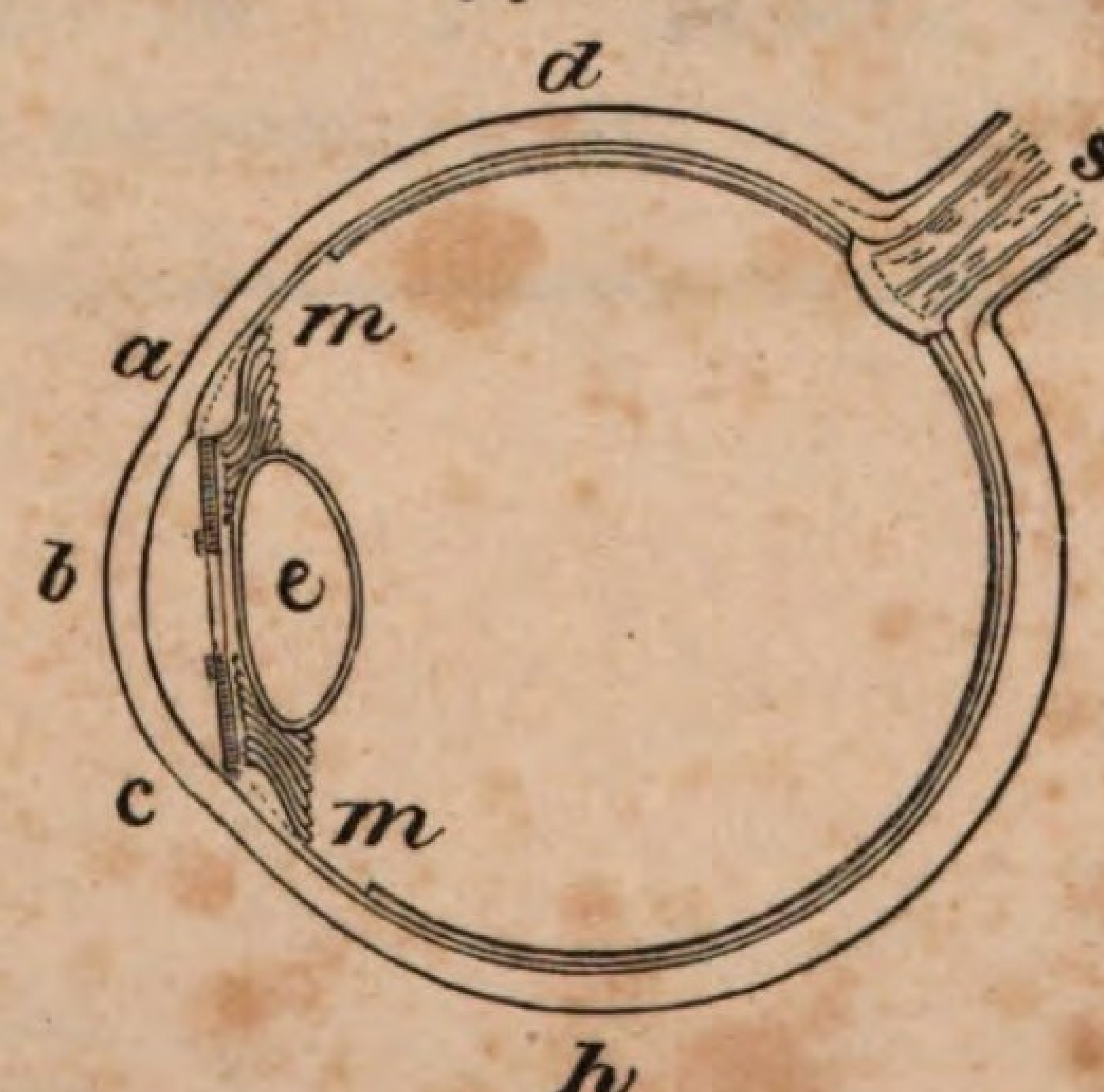


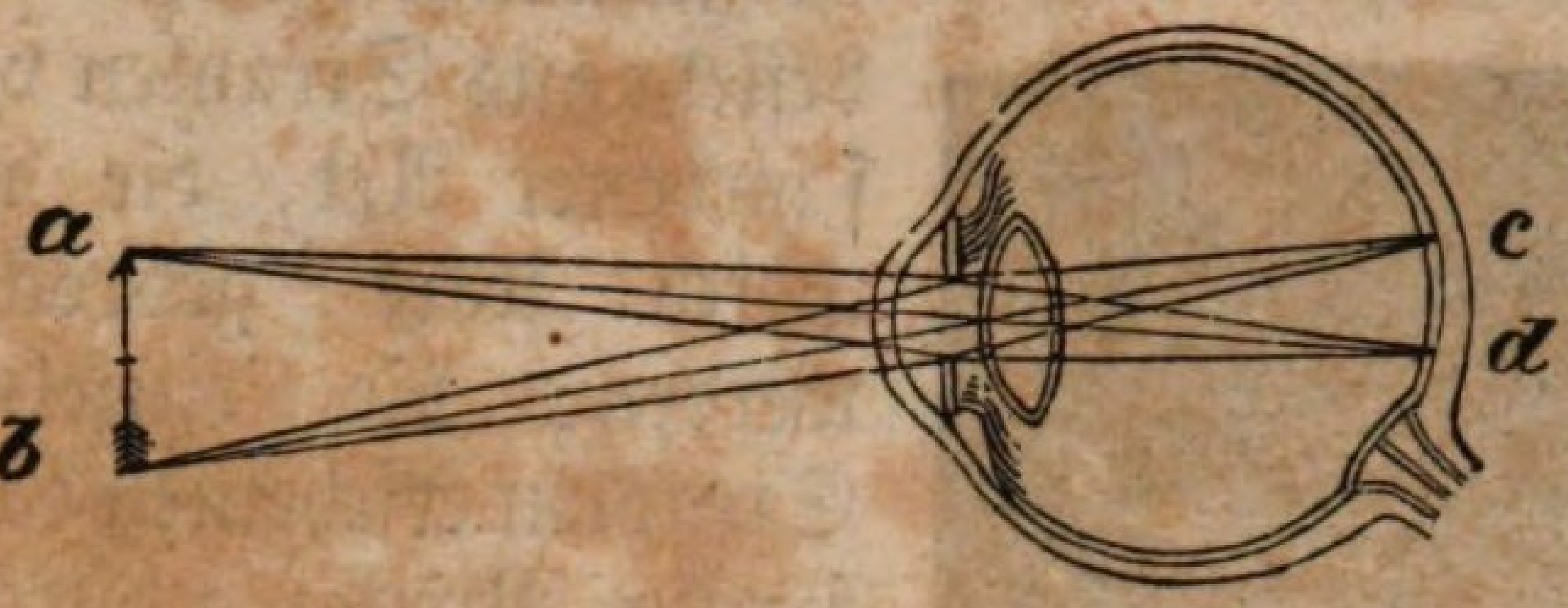
Fig. 271.



Sehen — Auge. S. Fig. 271. Nach außen die durchsichtige **Hornhaut**; *abc*, deren hinterer Theil *dh* (die weiße Haut) aber undurchsichtig ist; dann, im Anschlusse an die schwarze **Aderhaut** *mm*, die **Regenbogenhaut** mit der **Pupille**; sodann die **Krystalllinse** *e*; hinter dieser die Glasflüssigkeit und hinten im Auge die

Netzhaut, d. i. die Verzweigungen des Sehnervs *s*. Der Raum vor der Krystalllinse ist mit der sogen. wässrigen Flüssigkeit angefüllt. — Werfen des verkehrten Bildes auf die Netzhaut. S. Fig. 272. Das Bild von *a* fällt nach *d*, das von *b* nach *c*. — Zu späte und zu frühe Vereinigung der Strahlen — Brillen; convexe (die Lichtstrahlen vereinigende) für Weit-, concave (die Lichtstrahlen zerstreuende) für Kurzsichtige. — Ersetzung der Krystalllinse oft beim grauen Staar durch stark convexe Brillen.

Fig. 272.



Sehweite — Sehwinkel; kleinster etwa 40 Sekunden.

Anhang.

Tabelle

zur Vergleichung oft vorkommender Maße und Gewichte.

Land.	1 Fuß =	1 Quadratfuß =	1 Cubikfuß =	1 Pfund =	1 Cubikfuß Wasser wiegt	1 Pferdekraft zu 75 *Km.* ist =	Werth der Fallbeschleunigung *g*	Mittlerer Atmosphärendruck auf 1 □Fuß.
	Meter.	Quadratmeter.	Cubikmeter.	Kilogramm.	Pfund.	Fußpfd.	Fuß.	Pfund.
Baden u. Schweiz	0,300000	0,090000	0,07200	0,5	54	500	32,70	1860
Bayern	0,291859	0,085184	0,02486	0,56001	44,4	459	33,61	1570
Braunschweig	0.285362	0,081430	0,02324	0,5	46,8	525	34,37	1680
England	0,304795	0,092900	0,02832	0,45341	62,4	543	32,18	2120
Frankreich	0,324840	0,105500	0,03428	0.48951	70	472	30,20	2230
Hannover	0,292090	0,085320	0,02492	0,5	50	514	33,58	1760
Hessen-Cassel	0,287700	0,082770	0,02381	0,5	47,6	520	34,09	1710
Hessen-Darmstadt	0,250000	0,062500	0,01563	0,5	31,25	600	39,24	1290
Oesterreich	0,316103	0,099930	0,03159	0,56001	56,4	424	31,03	1840
Preußen	0,313854	0,098503	0,03092	0,5	61,8	480	31,25	2030
Sachsen	0,283260	0,080236	0,02271	0,5	45,5	530	34,91	1660
Württemberg	0,286490	0,082077	0,02351	0,5	47	525	34,24	1700

Der badische, hessendarmstädtische und württembergische Fuß sind 10theilig, alle anderen 12theilig.

Druckfehler.

Seite 44 Zeile 11 v. o. soll es im Text Fig. 25 statt Fig. 24 heißen.
„ 92 „ 16 v. u. soll es heißen: „den so gefundenen Werth“.

Druck von C. Hoffmann in Stuttgart.